25 -52, 2000

第四章　稻生長與環境之精準管理

郭益全[1] 蔡金川[1] 蔣永正[2] 王鐘和[1] 張義璋[1] 余志儒[1]
[1]行政院農業委員會農業試驗所
[2]行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

摘要 ---------- 26
壹、前言 ---------- 26
貳、稻之生長 ---------- 27
參、稻之氣象 ---------- 31
肆、稻田雜草與其精準管理 ---------- 34
伍、稻之營養與其精準管理 ---------- 37
陸、稻之病害與其精準管理 ---------- 39
柒、稻之蟲害與其精準管理 ---------- 45
捌、結語 ---------- 48
玖、引用文獻 ---------- 49
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 52

第四章　稻生長與環境之精準管理

郭益全[1] 蔡金川[1] 蔣永正[2] 王鐘和[1] 張義璋[1] 余志儒[1]
[1]行政院農業委員會農業試驗所
[2]行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

摘　　要

稻一般多被認爲是半水生的一年生作物，雖然稻在熱帶或亞熱帶可存活一如多年生。在植物分類學上，稻被歸爲於禾本科(Family *Gramineae* or *Poaceae*)，稻屬(Genus *Oryza*)。稻從發芽至成熟收穫所需之生育日數變異頗大，因品種與生長環境而異，變域介於 100 至 210 天之間，一般約需 4-5 個月。稻之生長可分爲三個主要相或期，即營養生長相(期)；生殖生長相(期)及成熟相(期)。稻生長遭遇之生物性與非生物性逆境極多。非生物性逆境包含極廣，舉凡雨量、水分、風、溫度、土壤、農用藥劑施用、某些金屬及各類來源之污染物等。生物性逆境包含各類病蟲害、鼠害、草類、及羊齒類等。文中對稻之生長、農業氣象、雜草、植物營養、病害及蟲害逆境與管理等加以綜合討論。

關鍵詞：稻、生長、環境、精準管理。

壹、前　　言

稻一般多被認爲是半水生的一年生作物，雖然稻在熱帶或亞熱帶可存活一如多年生。在植物分類學上，稻被歸爲於種子植物門(Phylum *Spermatophyta*)，被子植物綱(Class *Angiospermae*)，單子葉亞綱(Subclass *Monocotyledoneae*)，穎花目(Order *Glumiflorae*)，禾本科(Family *Gramineae* or *Poaceae*)，稻屬(Genus *Oryza*)。稻屬植物繁多，公認有 2 個栽培種及 20 個(或謂 21 個)野生種(Chatterjee,1948)。廣泛分布在非洲、馬拉加西、南亞、東南亞、東亞、含澳大利亞之大洋洲、中南美洲等地區。

稻的栽培種(cultivated species)有亞洲地區的 *Oryza sativa* Linn(或稱亞洲種)，及非洲地區的 *Oryza glaberrima* Steud(或稱非洲種)等兩種。而 *Oryza sativa* Linn 則是世界栽培稻之最主要稻種，其又可細分爲秈型(或印度型, Indica)、稉型(或中國型, Sinica、日本型, Japonica、溫帶稉稻, temperate Japonica)及爪哇型(或熱帶稉稻；Javanica, tropical Japonica)等三型。亞洲種栽培稻由於其長約 5000 年之漫長栽培歷史、歷經人類在多樣的水-土-季節環境(hydro-edaphic-seasonal regimes)下之選拔或馴化，再加上人類無遠弗屆之散播，各類生態遺傳歧異(ecogenetic

diversification)極其豐富，適應性極廣，從北緯 53^0 到南緯 40^0;從水平面到海拔 3000 公尺；從深水到旱地皆可種植(Chang, 1976)。另方面，非洲種栽培稻受人類之有意干擾甚少，目前僅在西非有若干的栽培面積，且該面積正持續被亞洲種取代中。

臺灣地處亞熱帶，地形狹長，中央山脈橫貫南北，雨水豐沛，高溫多濕，極適稻之生長，長久以來，亞洲種栽培稻(*Oryza sativa* Linn)是爲臺灣最首要的糧食作物。而臺灣稻作之起源，依已發現各種史前出土遺物考証，雖可追溯到三、四千年前，但卻遲至十七世紀初業始有文獻可考。據「閩海贈言」書中"東番記"一文記載："東番夷人不知所自始...。無水田，治畬種禾，山花開則耕；禾熟，拔其穗，粒長比中華稍長，且甘香..."(西元 1602 年，明萬曆三十年)。可見，在西元 1602 年代臺灣先住民稻作栽培尚處於極原始之狀態(吳，1993)。此後，歷經：荷人治臺之招募大陸漢人農業移民及積極獎勵種植蔗、稻；明鄭以降大量漢人移居臺灣之陸續攜入稻種；大和民族據臺之有計畫引種暨改良；中華民國政府遷臺爲供應軍胥民食就稻作產業之一番作爲，臺灣之稻作於焉燦然。

以往，國內在稻相關栽培、農業氣象、雜草管理、植物營養、病害管理、蟲害管理等各領域之研究既廣泛也深入，各領域也均有獲具體研究成果之學者專家。唯，各領域之具體成果均無與地理資訊系統、全球定位系統、遙測科技、及自動化農機操作系統聯結之數據，而無法於精準農業作業系統中直接被應用。本報告之目的即在綜論有關水稻生長、農業氣象、雜草、植物營養、病害及蟲害逆境與管理等各領域之研究成果，供我國水稻精準農耕體系研究計畫研擬暨實施之參考。

貳、稻之生長

一、稻之生長相

稻各品種從發芽至成熟收穫所需之生育日數(或稱生育週期)變異頗大，變域介於 100 至 210 天之間，一般約需 4-5 個月(Yoshida, 1981；Vergara, 1980)。在溫帶地區，從播種至收穫一般約需 130 至 150 天；而生育日數介於 150 至 210 天的稻品種通常爲感光性且被栽培於深水地區之品種；在熱帶地區，生育日數 120 天的品種則被認爲屬中熟品種。在臺灣，稻作年有兩期。一般推廣商業品種在一期作之生育日數爲 120-150 日；二期作爲 100-120 日。生育日數一期作約 120 日(或更少)，二期作約 100 日(或更少)之品種爲早熟品種。

稻之生長可分爲三個主要相(phase)或期(stage)，即營養生長相(期)(vegetative phase or stage)；生殖生長相(期)(reproductive phase or stage)；成熟相(期)(ripening or maturation phase or stage)[在一般稻書刊與論文中，相(phase)與期(stage)常被混用，惟嚴格言，兩者應有所區隔--著者]。生理上，此三個主要生長相可進一步被區分爲各種時期(stage)或期間(period)。以一個被種在熱帶地區的 120 天品種爲例，營養生長相約爲 60 天；生殖生長相約爲 30 天；成熟相亦約爲 30 天(如圖 1)。

1.營養生長相：

稻株之營養生長相始於稻種發芽，終於穗始原體形成(panicle primordia initiation)，而由稻種發芽至穗始原體形成之此段期間即所謂營養生長期。營養生長相的特色是分蘗急增、株高漸高及葉片定期發生。如圖 1 所示：稻種歷經發芽、移植、成活後，分蘗(tiller)開始出現(分蘗通常在主桿長約 5-6 片葉時開始萌發)。分蘗盛期(active tillering stage, 指單位時間內分蘗數增加最劇之時期)、最高分蘗期(maximum tiller number stags, 指每平方公尺或每株之分蘗達最高之時期--約在穗始

原體形成之前或之後，因品種而異)緊接著魚貫而來。

而由於稻株達最高分蘗期後，分蘗之數目會有所低減，故在最高分蘗期之前有一個稱有效分蘗終期(end stage of effective tillering,指已萌發之分蘗數目與收獲時之穗數相同之時期)的生育期出現。一般，由秧苗開始萌發分蘗到有效分蘗終期之期限間稱有效分蘗期(effective tillering stage)，因在本期間所萌發之分蘗均可抽穗。而由有效分蘗終期至穗始原體形成前之時期稱無效分蘗期(ineffective tillering stage)，此期間所萌發之分蘗通常無法抽穗形成稻穗。

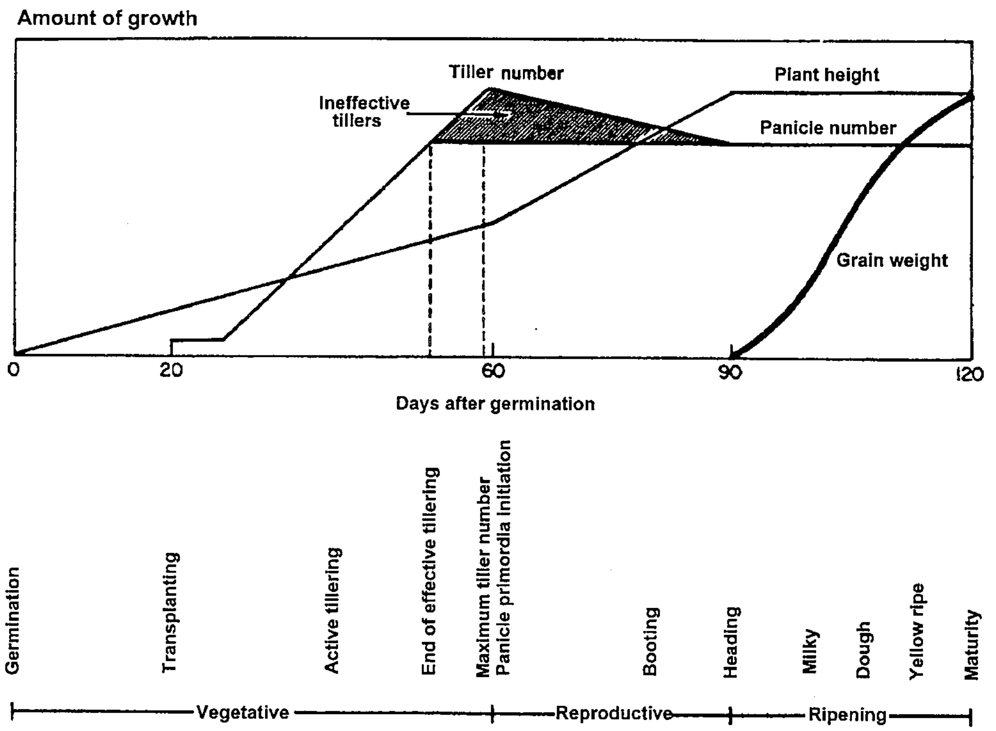

Fig. 1. Life history of a 120-day variety grown in the tropics under the transplanting cultivation system (schematic).

2.生殖生長相：

稻株之生殖生長相始於穗始原體形成，終於開花(flowering or anthesis)。本期間的生長特徵由莖桿伸長(一般在穗始原體形成期後開始顯著，而止於抽穗且僅上5個節間能顯著伸長)，而劍葉(止葉, flag leaf)出現、孕穗(booting)、抽穗(heading)，而終於開花。而整個生殖生長相大致又可分成穗始原體形成期、穗發育期(panicle development stage)及授粉受精期(pollination and fertilization stage)等三個重要生育階段。穗始原體形成期之發生通常可回溯至抽穗前30天(而一般農藝學家所稱之施穗肥即在抽穗前25天追施氮肥，此時穗始原體長約1mm)。孕穗是穗發育期最後之一個生育階段，一般在穗始原體可見後約16天顯現，此時劍葉葉鞘因穗之日見長大而逐漸膨大，終而稻穗從劍葉葉鞘伸(突)出。稻穗從劍葉葉鞘伸出之狀態即謂之抽穗，稻穗小穗花之開花常常

與稻穗之抽出同步或於抽出稍後發生，因之，在稻生活史中，抽穗往往與開花同義。小穗花開花後，授粉受精現象發生，穀粒開始充實發育，稻株由生殖生長相轉入成熟相。

3.成熟相：

稻株之成熟相是始於開花，終於成熟(maturity)。成熟相之生長特徵是穀粒之生長與葉片之老化(senescence)。整個成熟期大致又可區分爲乳熟期(milk stage)、糊熟期(dough stage)、黃熟期(yellow ripe stage)及完(成)熟期等。小穗花受精後穀粒開始出充實，開始時內含物呈水狀乳白色，是爲乳熟期；再而轉濃稠，是爲糊熟期；繼而穀粒漸漸變黃，形成所謂黃熟期；在穀粒達完熟期時，葉片概老化成黃色(但有些品種在達完熟期時葉片仍保持濃綠)。成熟期之長短受溫度影響很大，在熱帶約 30 天，在溫帶則有 65 天之紀錄。

稻之基本生活史會因地、因時、栽培方式等有所變異：首先，稻株全生長周期之差異主要是營養生長期間之改變。此即任一品種在任一環境下，生殖生長期與成熟期可被視爲固定。尤有進者，在移植栽培制度下，學者們(Tanaka *et al.*, 1964)習慣將稻株之營養生長期間進一步區分爲：營養生長盛期(active-vegetative stage)及營養生長遲滯期(vegetative-lag stage)。而所謂營養生長盛期係指秧苗移植於本田至最高分蘗期之期間；而營養生長遲滯期則指最高分蘗期至穗始原體形成期之期間。據 de Datta(1981)與 Yoshida(1981)之論著指出：一般光鈍感早熟品種之最高分蘗期、節間伸長期及穗始原體形成期約爲同步(且往往穗始原體形成期可能發生在最高分蘗期之前，抽穗也較參差不齊)；而生育期長的品種則最高分蘗期、節間伸長期及穗始原體形成期依序發生[即最高分蘗期會發生在穗始原體形成期之前，此稱遲滯營養生長期間(lag vegetative period)]。至於營養生長期較適中之品種，則穗始原體形成期緊接在最高分蘗期之後，此類品種在熱帶地區即爲 120 天之稻品種。

其次，由於移植時生長傷害之故，移植栽培稻株開始分蘗之直播時期較栽培來得晚。同時，直播栽培制度下，每稻株通常僅萌發出 2-5 個分蘗；而移植栽培者，每單株可萌發 10-30 個分蘗，故而，直播稻之分蘗力(tillering)較不重要。

最後，同一品種在移植與直播栽培等兩方式之生育期間可能會有稍稍差異，移植栽培方式下，稻株通常需一些時間來回青(即癒移植過程中之一切傷害並發新根重新生長，即成活)，在常遭寒流與低溫狀態下，約需 1 星期或更久(視低溫之程度與持續期間而異)，在臺灣二期作狀態下則僅約需 3 天，稻株即可回青。

二、稻生育時期與產量之關係：

稻穀產量是由單位面積穗數、一穗粒數、成穀率及千粒重等四個因素構成。因此，欲得高產，必先瞭解那一個生育時期是此四個產量構成因素是主要決定關鍵，才能針對此期間進行精準管理。一般，營養生長期爲單位面積穗數之主要決定期間；生殖生長期爲每穗粒數決定之關鍵期；而成熟期則爲關係粒重與成穀率之關鍵期(如圖 2)。

由稻種發芽開始至有效分蘗終期之期間是決定單位面積穗數之重要時期，在此段期間之氣象、營養狀態等外在環境之良否，對穗數之構成均有影響力，其中以最高分蘗期爲最是關鍵。

一穗粒數之多少係在幼穗形成期及孕穗期所決定。而幼穗形成期包含穗頸、穗軸、枝梗及穎花等器官分化之時期。孕穗期爲幼穗各器官之生長及生殖細胞之分化時期。在幼穗形成後之穎花，並非均能繼續生長與開花結實，在此段時間若遭遇不利環境(尤其在減數分裂前後之環境)，諸如低溫、土壤中養份與水份缺乏時，則穎花易發生退化而消失。因此可謂：幼穗

形成期爲一穗穎花之增殖時期；而孕穗期則爲已分化之穎花生長與退化作用之決定時期。故一穗粒數之多少，完全依據生殖生長期這兩個增加與退化要因之互相加減而決定之。在此期之植株，含氮量多少與一穗粒之多少成正直線迴歸。光合作用活性之大小，在生殖生長期也同樣可控制一穗粒數之多少。

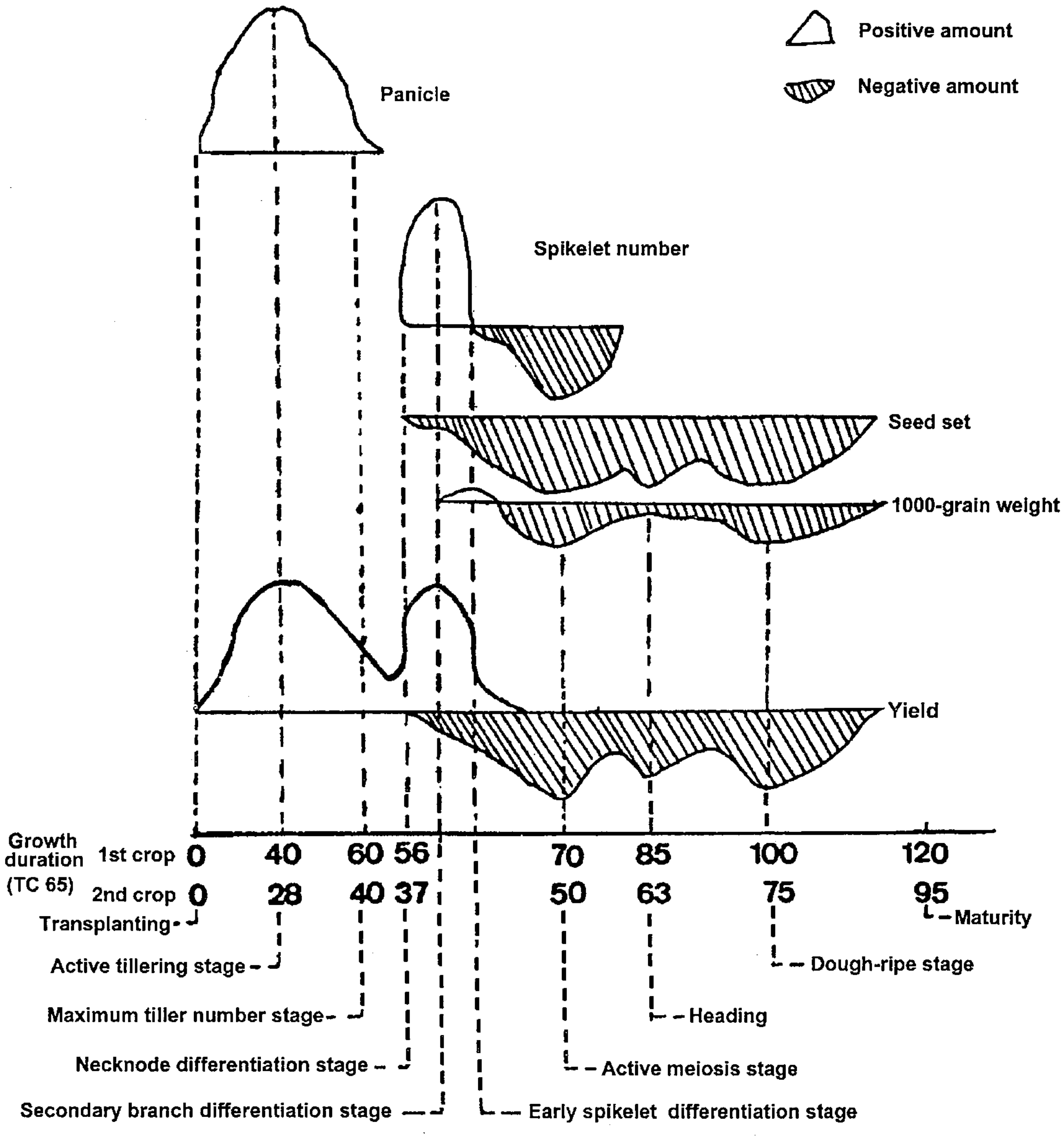

Fig. 2. Development of yield potential and yield components of rice.

自穗頸分化始期至黃熟期之期間，尤其在減數分裂盛期、抽穗期及糊熟期時，若遭遇低溫或缺水等惡劣環境，甚易失去授精機能、或子房內之養份轉移惡劣，而

造成不稔實粒及不完全稔實粒。故，穎花之大小與胚乳之肥瘠兩因素可用來決定穀粒之重量。而穎花之大小，係以穎花分化期前及減數分裂時之環境影響最劇。若土壤中養份充足或視植株葉片綠色程度合理加施穗肥，可使其穎花之大小增加。胚乳之肥瘠在抽穗後至黃熟期之間爲關鍵期，尤以糊熟期之環境(如低溫、風害、缺水、病蟲害等)均可導致粒重之減低。

總上可知，在整個水稻生活週期中或多或少均可影響到稻穀之產量，其中以分蘗盛期、第二枝梗分化期、減數分裂盛期、抽穗期與糊熟期最爲關鍵，尤以環境惡劣及栽培管理不適當時更爲嚴重。前兩個時期，若遇合適之環境與給予合宜之栽培管理，則可使穗數與穎花數顯著地增加；但後三個時期一般甚易造成穎花退化數量之增加，成穀粒及粒重之減低。因此，如何防止一穗粒數、成穀率與粒重之退化，即爲稻穀增產之有效途徑。

參、稻之氣象

一、稻生長發育之氣象因素：

所謂氣候(climate)是某一段特定期間內之大氣狀態，而氣象(weather)是某特定時間之大氣狀態，兩者之差異在時程之相對長短。此即，時程相對長者爲氣候；相對短者爲氣象。惟，不論氣候或氣象，人類只能預測，無法主導，且因地因期而異。雨水、日射量、日長、溫度、相對濕度、風等是一般被認爲與作物生長有關之氣候因素，茲通論式簡述稻作生長與各該氣候因素之關係如下：

1.雨水(rainfall)：

植物必需有相當之水份，始能發芽生長。水對稻各生育期之生長更有不同的意義。水稻一生幾乎全期生長在田面湛水(flooding)之狀態下；陸稻則與水稻完全相反，田面無水貯留，全賴雨水爲惟一之水份來源(De Datta, 1981)；深水稻及浮稻之主要生育期恰逢洪水期(flooding period)，此期間之雨量往往超過 1.1m(Catling *et al.*, 1988)。由於稻栽培之水份條件與來源有如此之變異，且就大多數稻生產區而言，雨水爲最主要之水份來源，因之 De Datta(1981)指出：稻之栽培往往依水供應之來源而被分成看天(rainfed)與灌溉(irrigated)栽培等兩大類。而看天栽培又可進一步區分成：看天水稻(rainfall lowland rice)、深水稻(deepwater rice)、浮稻(floating rice)及陸稻(upland rice)等四種主要之栽培體系。

2.日射量(solar radiation)：

Yoshida(1981)指出稻株各個生育期之日射量需求不同，營養生長期(vegetative growth stage)間遮光對產量構成要素與產量之影響甚微；生殖生長期(reproductive stage)間遮光則對一穗穎花數有極大之影響；穀粒成熟期(ripening stage)間遮光則因成穀率低降而導至減產。亦即，生殖生長期之日射量對稻穀產量之影響最著；其次爲穀粒成熟期；而以營養生長期之影響最小。強光下稻之株高雖受抑制，但分蘗數增加，莖重、穗數、總粒數及成穀率均因之加大，因而日射量對稻米之產量與品質影響甚鉅。

3.日長(day length)：

稻一般被歸類爲短日作物，對光期非長敏感，長日將阻止或延遲開花(Vergera and Chang, 1976))，當日長降低至臨界點(critical point)，感光稻品種即開花，該稻品種之生育期間因之改變，改變之幅度視該品種對光期敏感度(photoperiod sensitivity)而定。此種因日長而改變之反應最主要是經由基本營養生長模式(basic vegetative growth pattern)之改變。現存稻品種間之日長敏感性差異極大，有些品種屬光期鈍感或中性；有些爲弱感光；有些感光性極強，而現行改良之商業品種幾已全呈光期鈍感。弱感光品種由種植至收穫

之全生育期間因日長變異所引起之改變甚小；但強感光品種僅僅可在長日長環境下被栽培達一定期間，否則收成定成問題，此因強感光品種在日長長過或短於最適日長時，將造成開花延遲。前已述及，雖然現存稻品種間之光期敏感性差異極大，但迄無長日稻品種發現(Chang and Vergera, 1972; Vergara and Chang, 1985; Mikkelsen and De Datta, 1991)。

4.溫度(temperature)：

稻爲原生於熱帶之糧食作物，最適合被栽培於陽光充沛及平均溫度 20-38^{0}C 之地區。極端溫度(extreme temperature)破壞稻株之生長，Yoshida(1981)專論指出：稻正常生長發育之臨界低與高溫度分別爲低於 20^{0}C 及高於 30^{0}C，視生育期之不同而改變；臨界溫度也視品種、臨界溫度期間、日變化及植株生理狀態而異。處於花粉母細胞正值減數分裂期的供試稻株，低於 20^{0}C 溫度將導至較高的穎花不稔率，但品種間差異極大。如不耐低溫的農林 20 號 15^{0}C 低溫處理 5 天，51%穎花不稔；耐低溫的 Hayayuki 在相同之處理條件下，穎花不稔率僅有 5%。而花粉母細胞正值減數分裂期之最後 2 天的 12^{0}C 低溫處理，並不影響穎花稔實率；最後 6 天的 12^{0}C 低溫處理，穎花 100%不稔。低溫誘至不稔係肇因於低夜溫，相對高日溫可減少低夜溫之傷害。花粉母細胞正值減數分裂期夜溫 14^{0}C 處裡 9 天，日溫亦爲 14^{0}C 時，穎花不稔率 41%；日溫 26^{0}C 時，穎花不稔率爲 12%。旱田培育之稻秧有較高之澱粉與蛋白質含量，因而根系較水田培育之稻秧強大，因此，旱田秧苗可在日平均溫度 13-13.5^{0}C 下來移植；水田秧苗則需在日平均溫度 15-15.5^{0}C 條件下來移植。

5.相對濕度(relative humidity)：

相對濕度指大氣中之水蒸氣含量。在熱帶，相對濕度對稻株之影響往往與日射量及溫度混淆不清(De Datta, 1981)。一般咸認相對濕度與稻穀產量無直接關，但因爲相對濕度與露水之形成有關，而長露期(long dew period)往往增加稻株罹患稻熱病(blast)之機會，在這種情況下，高相對濕度之效應往往與造成長露期的另一個因子--低夜溫混淆。

6.風(wind)：

風乃空氣之流動。De Datta (1981)指出：稻之光合作用因風速度增加而提高，但風速超過 0.75-2.25cm sec^{-1} 則無此提高稻光合作用之效用。因此，稻株生育期間，和風徐徐增加稻株冠(canopy)氣流之流動，增補稻株周遭二氧化碳之含量而有助稻穀產量之提高。另方面，強風可導致葉片機械傷害；如發生在抽穗後，往往造成嚴重之倒伏(lodging)與損毀、稻穗脫水(desiccation of panicle)、穎花不稔等現像；強風往往也加速稻細菌性葉部病害(bacterial leaf diseases) 之傳播。而熱帶暴風如颱風或颶風等除風速超強外，往往尙挾帶大量雨水，對稻株之傷害更大。其它如鹽風與焚風概直接造成稻株葉片或穗之傷害，進而影響稻穀產量(De Datta, 1981; Mikkelsen and De Datta, 1991)

二、水稻生長期間氣象因素與產量之關係

臺灣稻作年有兩期，一期作生育前期的氣溫及日射量較低，水稻之生育、生長緩慢甚或受冷害，分蘖的形成受阻。而二期作生育初期的高溫、高日射量，一般認爲是抑制分蘗數致使穗數減少的主要原因，尤其北部地區生育中期以後氣溫下降至均溫 19℃左右，日射量亦降低常在 200 cal cm^{-2}day^{-1} 以下，可能影響光合作用及同化物質的轉流（謝，1979），致使穀粒充實率及千粒重降低（蔡，1978）。蔡（1978）曾在水稻各生育時期，以遮光及溫度處理，發現氣象因子（寡日照、高溫或低溫）對於水稻各生育時期產量構成要素會有不良影響，分別爲水稻移植後 40～45 天會減少穗數，抽穗前 7～14 天會減少穎花數，結實率、千粒重及抽穗後 21～28 天會減少

結實率、千粒重。另據松島（1972）所述，穎花始原體分化後期至花粉母細胞充實期再至花粉母細胞減數分裂後期之期間，分化成的第一、第二次枝梗及其穎花最容易因低溫或高溫而退化。另方面，蔡（1954）指出高溫對穀粒充實率的負方向影響是因呼吸的消耗爲其主要原因；而松島（1972）則認爲低溫對於水稻養分吸收以及轉運等的生理作用有阻礙作用，引起同化作用的降低，可能因此降低千粒重。

圖 3 及 4 爲農試所農工系農業氣象研究室多年來在臺中地區研究所建立：水稻品種臺農 67 號一、二期作生育過程之模式及其預警系統。由圖 3 所示，一期作，臺

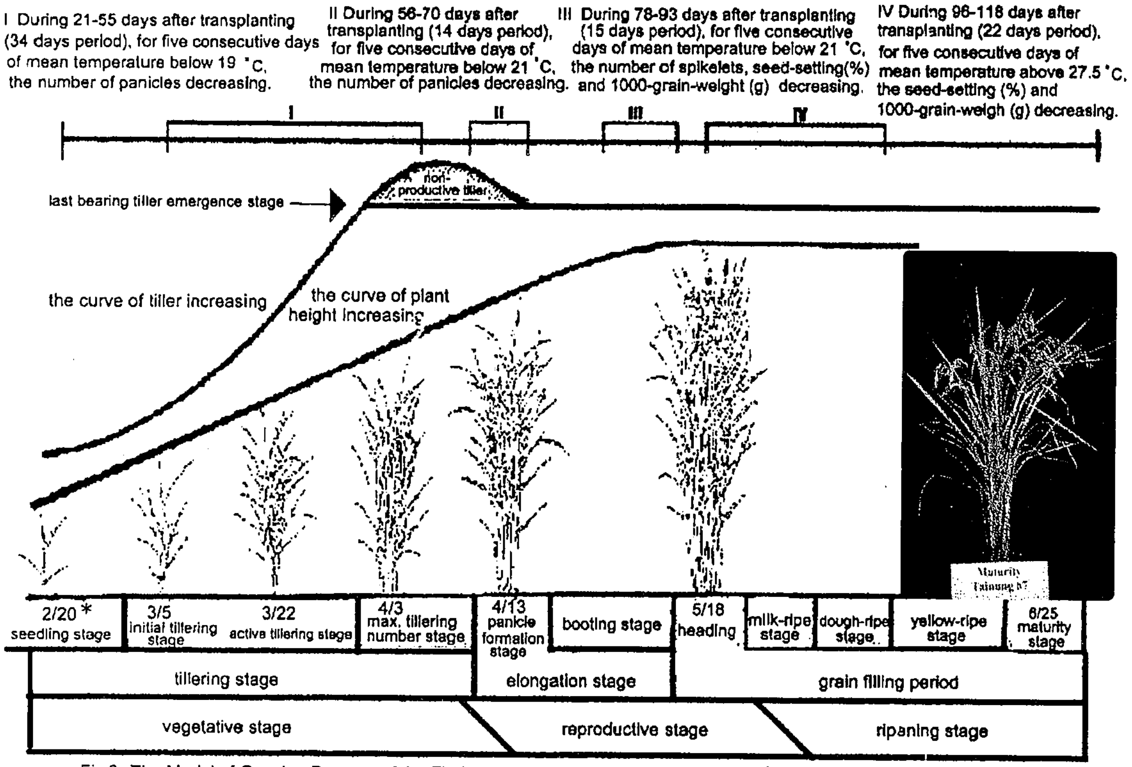

Fig 3. The Model of Growing Process of the First Rice Crop (variety: Tainung 67) and Its Warning System in Taichung Area.
* : month/day

農 67 號在分蘗始期至最高分蘗期(移植後 21-55 天)之期間(34 天)內，若有連續 5 天溫度低於均溫 19.0℃時，低溫會抑制稻株分蘗，致使穗數減少。幼穗形成期(移植後 56-70 天)之期間(14 天)內，若有連續 5 天溫度低於均溫 21.0℃，低溫會提高無效分蘗致使穗數減低。在孕穗期(移植後 78-93 天)之期間(15 天)內，若有連續 5 天溫度低於均溫 21.0℃，低溫則會降低一穗粒數、穀粒充實率及千粒重。至於抽穗開花期至穀粒充實期(移植後 96-118 天)之期間（22 天）內，若有連續 5 天溫度高於均溫 27.5℃，高溫會減低穀粒充實率及千粒重。

二期作時，臺農 67 號在分蘗始期至最高分蘗期(移植後 13-43 天)之期間(30 天)內，若有連續 5 天溫度高於均溫 28.0℃時，高溫會稻株分蘗被抑制，致使穗數減少。幼穗形成期(移植後 45-53 天)之期間(8 天)內，若有連續 5 天溫度高於均溫 27.5℃，高溫會提高無效分蘗致使穗數減低。在孕穗期(移植後 60-74 天)之期間(14 天)內，若有連續 5 天溫度高於均溫 27.0℃，則會降低一穗粒數、穀粒充實率及千粒重。至於抽穗開花期至穀粒充實期(移植後 77-97 天)之期間(20 天)內，若有連續 5 天溫度高於均溫 27.0℃或低於均溫 21.0℃，

都會減低穀粒充實率及千粒重。

綜合圖 3 及 4，則可瞭解臺中地區一、二期作水稻品種臺農 67 號之產量構成要素（穗數、一穗粒數、穀粒充實率、千粒重）形成對於溫度之敏感期及每個敏感期之溫度對於產量構成要素的影響情況。再配合其他水稻生育過程（成活期、分蘗始期、...、成活期）及分蘗增加曲線、株高遞增曲線與有效分蘗進入無效分蘗，這不但可當稻作生產（產量及其構成要素）的預警、預測應用，還能作爲水稻生育成長分析的指標。並可作爲水稻栽培管理（施肥、灌排水等）即如何避開生育過程敏感期的氣溫之惡劣影響之耕作方法等，與水稻育種篩選耐低溫或高溫的優良品種或品系的參考依據。

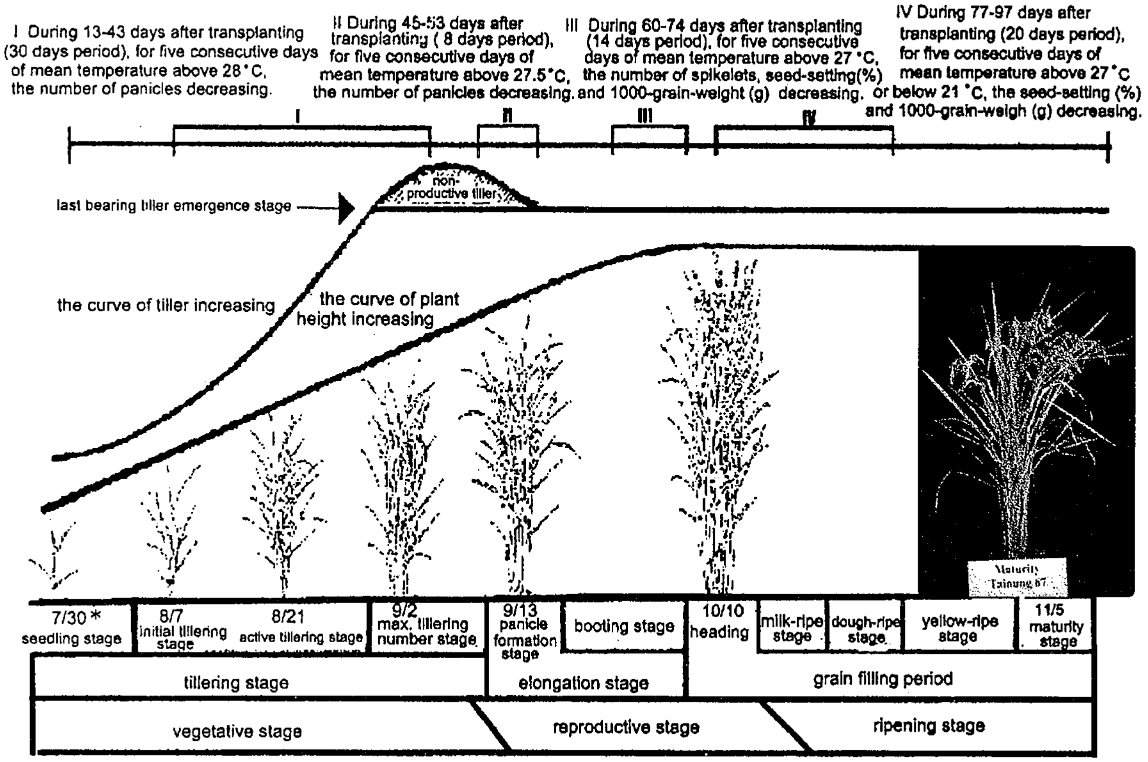

Fig 4. The Model of Growing Process of the Second Rice Crop (variety: Tainung 67) and Its Warning System in Taichung Area.
* : month/day

肆、水稻田之雜草與其精準管理

一、臺灣之稻田雜草

廣義而言，凡是影響到人們當時所栽植作物收量的其他植物，均可稱之爲雜草，如自生稻在非水稻田內發生時則視爲雜草。而本節所述則以臺灣地區之狹義雜草爲主。一般而言，水生雜草依其生長型式分爲浮水型、挺水型及沉水型，而水稻田常見之主要雜草大部份爲挺水型，即根部著生於土中，地上部枝葉大部份露出水面，諸如稗草(*Echinochloa crus-galli*)、螢藺(*Scirpus juncoides*)、球花蒿草(*Cyperus difformis*) 、鴨舌草 (*Monochoria vaginalis*)、野茨菰(*Sagittaria trifolia*)、水莧菜(*Ammannia baccifera*)、母草(*Lindernia pyxidaria*)、紅骨草(*Rotala indica*)、尖瓣花(*Sphenochloa zeylanica*) 及雲林莞草(*Scirpus planiculmis*)等是。浮水型雜草有青萍 (*Lemna paucicostata*) 、槐葉蘋(*Salvinia natans*)及滿江紅(*Azolla pinnata*)等。此外，如芒稷(*Echinochloa colona*)、

千金子(*Leptochloa chinensis*)、雙穗雀稗(*Paspalum distichum*)、碎米莎草(*Cyperus iria*)、鋸葉定經草(*Lindernia ciliata*)及滿天星(*Alternanthera sessilis*)等，由於水田整地趨於粗放，及淹水或保水的管理不佳，亦有從田埂蔓延至田區內，逐漸成爲重要的防治對象(表 1)。

表 1. 臺灣水田常見雜草簡要特性.

類別 名稱	繁殖特性	發生位置	島內分佈	危害潛力	藥劑防治	總重要性
滿天星 *Alternanthera sessilis* R. Br.	sv	lp	3	1	3	2
水莧菜 *Ammannia baccifera* L.	s	p	2	3	1	2
多花水莧菜 *Ammannia multiflora* Roxb.	s	p	2	3	1	2
球花蒿草 *Cyperus difformis* L.	s	p	3	3	1	3
碎米莎草 *Cyperus iria* L.	s	pl	3	3	1	3
芒稷 *Echinochloa colona* (L.) Link	s	pl	2	3	1	3
稗草 *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.	s	p	3	4	1	3
鱧腸 *Eclipta prostrata* L.	s	l	3	2	1	1
溝繁縷 *Elatine triandra* Schk.	vs	p	2	1	1	1
水蝨草 *Fimbrystilits miliacea* Vahl.	s	pl	2	2	2	3
千金子 *Leptochloa chinensis* (L.) Lees	s	pl	3	2	1	2
鋸葉定經草 *Lindernia ciliata* (Colsm.) Pennell	s	pl	3	2	1	1
母草 *Lindernia pyxidaria* All.	s	pl	3	2	1	2
喇叭草 *Ludwigia prostrata* Roxb.	s	pl	2	2	1	2
水丁香 *Ludwigia ocatavalis* (Jacq.) Raven.	s	pl	2	2	1	2
鴨舌草 *Monochoria vaginalis* Presl.	s	p	3	4	2	3
自生稻 *Oryza sativa* L.	s	p	1	2	2	1
匍地黍 *Panicum repens* L.	v	l	2	1	nc	1
雙穗雀稗 *Paspalum distinchum* L.	v	lp	3	3	nc	2
印度水豬母乳 *Rotala indica* (Willd.) Koehne	sv	p	3	2	1	2
瓜皮草 *Sagittaria pygmea* Miq.	vs	p	1	1	3	2
野慈菰 *Sagittaria trifolia* L.	sv	p	2	3	3	3
螢藺 *Scirpus juncoides* Roxb.	sv	p	3	3	2	3
雲林莞草 *Scirpus planiculmis* Fr. Schmidt	vs	p	2	4	4	3
尖瓣花 *Sphenoclea zeylanica* Gaerth.	s	p	1	3	2	2

[1] 繁殖特性- s:種子，sv:種子為主，營養器官為次，v:營養器官，vs:營養器官為主，種子為次。
[2] 發生位置- p:田區內，pl:田區內為主，田埂為次，l:田埂，lp:田埂為主，田區內為次。
[3] 島內分佈- 1:地區性，2:全島低比例（含地區性高比例），3:全島高比例。
[4] 危害潛力- 1:低，2:中，3:高，4:極高。　[6] 總重要性-1:次要,2:主要,3:主要+嚴重。
[5] 藥劑防治（對水稻安全之選擇性除草劑）- 1:萌前藥劑效果優，2:萌前藥劑效果可，3:萌後藥劑效果優，4:萌後藥劑效果可，nc:選擇性除草劑無效。
[6] 總重要性- 1:次要，2:主要，3:主要+嚴重。

水稻田經耕犛、整平、湛水後，土壤中之雜草種子或營養繁殖體開始萌芽，多數一年生草子由表土 1 cm 之氧化層長出，萌芽快速而整齊，易受除草劑的影響(Zimdahl *et al.*, 1988)；多年生之球莖或走莖等營養繁殖器官的萌芽，則不限於表土淺層且萌芽期分散，藥劑的防治效果較差(蔣及呂，1982；Yamasue and Ueki, 1983)。

本省一、二期作水稻整地前田面狀況及初期之氣溫差異大。一期作田面常有大量之冬生型旱田草，二期作則多爲稗草及自生稻。溫度的差異影響雜草的萌芽整齊度及生育，一期作低溫下萌芽慢且期間長，其在整地後 60 日之營養生長速率如株高及生物量，約與二期作整地後 30 日者相當(Chiang, 1983)。期作間草相亦有差別；如野茨菰多發生於一期作，鴨舌草、紅骨草、尖瓣花及芒稷則在二期作較多。南北不同區域間因溫度及田間操作管理的差異，亦導致某一雜草地區性的局部發生，如野茨菰集中於桃竹苗地區，瓜皮草分布於苑里、大甲一帶，水莧菜及尖瓣花在中南部發生較多，雲林莞草則主要在中部濱海水田中(蔣及呂，1982)。但近年來在代耕方式的盛行下，遭受雜草種子或營養莖污染的農機具或秧苗，會加速繁殖力強的雜草散布，同時在使用類似除草劑防治手段下，地區間草相的差異有不明顯的趨勢，如雲林莞草已拓展至臺東地區。

二、雜草的危害

雜草之所以會成爲栽培管理上的害物(pest)之一，即因爲在田間發生時會干擾作物的正常生育，而雜草爲害分爲競爭與非競爭兩類。競爭爲害主要是指雜草與稻株競爭光照及養份。雜草對光的競爭以稗草爲最強，稗草爲 C_4 型植物，生長速率較水稻快，整地後萌芽之稗草在生育中期即高過水稻，造成遮蔽導致穀粒數及稔實率降低。野茨菰、螢藺及球花蒿草在移植田通常較稻株矮，不致造成頂上遮陰，但仍可減少植株中下層葉片之受光量，匍伏型及矮生型雜草多不具對光之競爭力。

養份的競爭爲雜草影響作物生育最明顯之爲害，移植後 40 日之水稻、稗草、球花蒿草及鴨舌草之含氮量分別爲乾物重之 1.69、1.23、2.02 及 2.53%(Chisaka, 1977)；因此水田中如有高密度雜草發生時，對養份的競爭是極爲可觀的。雜草競爭引起水稻生育不良、分蘗減少、株型改變及抽穗延遲；導致產量損失主要和穗數及每穗粒數的降低有關，粒重及稔實率所受的影響較少(Chang, 1970)。至於競爭減產程度因雜草的種類、密度、競爭時期、作物品種、栽培方式及氣候環境等條件而改變，田間實際發生的減產範圍在 10-90%之間。Chiang 及 Leu(1981)分析資料顯示：不除草導致之平均減產程度在移植稻及直播稻分別爲 16 及 62%。移植稻通常採用 4-5 葉齡之秧苗，移植同時田間雜草尙處發芽或萌芽時期，故移植稻在競爭上佔有先天的優勢，整地後陸續萌發之雜草，因水稻不斷的生長，愈晚長出之雜草競爭力愈弱。雖然雜草潛在爲害力很高，但在本省稻作栽培體系已進入成熟制式階段，實質上因競爭造成之減產仍屬有限。

雜草在田間造成的非競爭性爲害，大部份爲間接的干擾；在水田或其四周環境發生之水稻病原及害蟲，可以雜草爲寄主植物或棲息場所，而增加病蟲害發生的機率及爲害程度；如傳播水稻毒素病之黑尾浮塵子可在稗草、牛筋草、看麥娘及狗牙根上過冬，並能在畫眉草(*Eragrostis atroviens*)上完成生活史，而在此草附近出現高密度之族群。水稻紋枯病菌所產生之菌核附著在雜草後即發芽侵入，雜草上紋枯病之菌核亦能傳播此病。根據本省文獻記錄，稻熱病、紋枯病、黃萎病、小球菌核病、白葉枯病、白尖病、黑尾浮塵子、縱捲葉蟲、稻細　、二化螟、稻稈蠅、鐵甲蟲、黑椿象等水稻病蟲害之病原及害蟲均可以雜草爲寄主(蔡，1991)。此外水田

田埂、溝渠、農路雜草掩蔽處常爲老鼠棲息處，除破壞水路引起灌排水問題外，亦常於中後期侵入田中危害水稻。雜草所發生之毒他作用(Allelopathy)亦爲非競爭性危害之一種 (Premasthira and Zungsonthioporn, 1995)。水田整地前田面所滋生之雜草，於整地時翻犛至土中後，植物殘質所釋出之酚類等二次代謝產物，可導致水稻秧苗的生育不良。

三、雜草之精準管理

現代的雜草防治觀念已由"管理"取代傳統之"根除"，在符合經濟防治水準的原則下，於作物敏感生育期間，結合栽培體系及藥劑施用等綜合防治策略，長期而持續的控制草量至可接受程度，如此不但可提供作物較佳之生育空間，同時亦不會濫用藥劑造成環境的負荷。此防治的重點著重於壓制其茂盛的繁殖力，同時考量經濟效益達到省時省工的管理策略。

傳統上，臺灣之稻栽培對雜草之控制主要以化學除草劑爲主，其他田間作業及非藥劑防治爲輔助。1960 年代後期本省水田開始使用除草劑，70 年代結束前藥劑除草之比率已達 100%(Chiang and Leu, 1981)，登記的藥劑多達數十種，這些除草劑對移植稻均相當安全；依推薦之用量及方法，可防治大多數一年生雜草(Minton, *et al.*, 1989)。每期稻作僅需在移植後數日內施用一次萌前除草劑，對 1-2 葉期之雜草效果最好；發育超過 2-3 葉之雜草，對萌前藥劑之忍受力會明顯增強，因此必須掌握時機適時施藥，才能達到預期之防治效果。夏季高溫下，田間雜草萌芽生長快；二期作施用萌前殺草劑之時間須較一期作爲早(Chiang, 1994)。現有之除草劑對直播稻之安全性不足，易造成水稻缺株及苗期之生長抑制，爲減少除草劑藥害，直播田需整地平坦及灌排水均勻，並將推薦用量在播種前後分兩次各以半量施用。萌前藥劑施用後，少數未被殺死之雜草可用人工清除，如有高密度之闊葉雜草殘存時，則需補施百速隆(pyrazosulfuron)、免速隆(bensulfuron)或本達隆(bentazon)等萌後作用較強之藥劑。田區中多年生闊葉草嚴重或農時延誤田間雜草已達 3-4 葉時，可逕行選用百速隆或免速隆來防治(Chiang and Leu, 1987; Takeda *et al.*, 1985)。田間稗草如已發育至 3-4 葉以上，目前僅除草寧（propanil）可防治大於苗期之稗草；此藥劑在本省因需求量小，市面上難以取得，除草寧會受有機磷或氨基甲酸鹽類農藥之影響，導致水稻嚴重之藥害，使用時需特別注意。一般農路、田埂、畦畔及整地前田面雜草之防治，主要以巴拉刈及嘉磷塞兩種非選擇性除草劑，但施用時不可噴及水稻及鄰近其它作物，以免造成藥害。

管理良好之田區，土壤中所含雜草種子量少。雜草之危害程度低，防治作業也較單純。維護田區四周及灌溉溝渠之清潔，可減少有害雜草種子及營養繁殖體傳入田內。危害潛力高而防治困難之雜草，如雲林莞草及瓜皮草等多年生草，主要依靠整地之農機具將其走莖打斷加速散佈，目前僅在部份田區發生，因此未被危害之田區應預防其侵入，一旦發現須在初期予以根絕，以減輕日後經常性防除之額外負擔。水田整地及水管理等作業，也會影響藥劑的防治效果及雜草發生之種類與數量，田面整平有助於粒劑除草劑的均勻散佈發揮藥效；漏水及輪作水田內芒稷及一些偏旱生型之雜草較多，移植後數週內如能保持田區內湛水狀態，則可免除或減少這類雜草的危害。多年生水田雜草之營養繁殖器官不耐乾燥，在乾旱休耕期翻鬆土壤，營養繁殖體易脫水而死，降低後作田區中多年生草之密度(本文主要依據蔣慕琰博士發表之"臺灣水田雜草生態及防治"-行政院農委會農業藥物毒物試驗所 51 號技術專刊改寫，謹表謝忱)。

伍、稻之營養與其精準管理

一、稻之植物營養

如其他作物，稻之栽培除了必需適時適量供應二氧化碳、氧氣、水及 13 種營養要素外，尙需足夠之矽，稻株才能正常生長、開花、結果，獲得理想之產量與品質。這些必需要素在稻株體內都有其特定而無法替代之生理功能：

(一)構成稻體：如碳、氫、氧、氮、磷、硫，爲各類碳水化合物、核酸、蛋白質、脂肪等的組成分；

(二)爲酵素之組成分或催化酵素反應：如鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅、鉬。

(三)維持細胞之膨壓及電解質平衡：如鉀、鈣、鎂、氯。

(四)維持細胞膜之完整性或控制某些生理、生化反應之路徑：如鈣、硼、氯。

以上碳、氫、氧、氮、磷、硫、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅、鉬、硼及氯即被稱爲作物正長發育所需之 16 種必需元素(essential element)。其中碳、氫、氧爲構成細胞之基本成分，在植體中含量最多，合計約占作物乾物重之 90%。氮、磷、硫、鉀、鈣、鎂則約在 0.1-5%之間。而氮、磷、鉀三種要素因稻株之需求量比較大且土壤中之有效含量常不夠作物正常生長之所需，需要靠施肥來補充，故，氮、磷、鉀就被稱爲肥料三要素；而鈣、鎂、硫需要量次之，故被稱爲次量元素。至於鐵、錳、銅、鋅、鉬、硼及氯在植體中之含量甚微，故被稱爲微量元素。而矽雖不爲作物生長所需之 16 種必需元素之一，但因爲矽可增強稻株之直立性與抗病能力，故，矽仍被列爲稻之有益元素(beneficial element)。

水稻對三要素之反應以氮素最爲敏感，氮素稍缺乏則發育不良，產量不高，但如果施用過量，或施用時期不當，亦易滋生病蟲害或引起倒伏而減產。水稻自播種以至收穫之任何階段均可吸收氮素，但就各階段所吸收氮素對稻穀生產之效率言，則以分蘗盛期及幼穗形成期爲最大。分蘗盛期及幼穗形成期氮素養分充足與否，影響穗數、潔實率及千粒重，因此欲穫高產，必需在這兩個時期充分供應氮素肥。氮肥施於稻田表面後，極易因脫氮作用而揮失，且亦有一部分流失，其損失量因土壤質地而異。因此，氮肥需分次施用，其中基肥需混入土中 0-12 公分才能減少損失，而漏水過速之水田則不施用基肥。分蘗盛期之追肥應視分蘗狀況；穗肥應依葉色，調節施用。

磷肥以一次作基肥施用爲原則；鉀肥則著重追肥分施，避免過早施用而流失。

二、稻作營養之精準管理

水稻爲臺灣地區栽培面積最多之作物，合理之肥培管理除了其經濟意義外，積極的更有維護生態環境之意義。水稻的生育受品種、氣候環境、栽培方法及土壤肥力等因素影響，本省已往亦已累積相關之試驗結果釐訂有稻田之氮肥、磷肥及鉀肥之推薦用量，使水稻之施肥推薦邁向科學化。近年來在複作制度下，由於不同作物之施肥情況截然不同，上作施肥所殘留肥分和作物殘體對次作物之養分吸收將有莫大影響(Hayami，1975)，故土壤養分之測定及作物需肥性之診斷益加重要。

基於水稻收量之生理觀點及上述原則，稻作營養之精準管理簡述如下：

1.營養生長期：

營養生長期爲穗數之決定時期，亦是分蘗數及葉數增加的盛期。據報告分蘗發生之最適濃度爲氮磷鉀各 4.0，0.2，1.5%以上，尤其是氮濃度與分蘗之發生關係最爲密切。植物體中氮濃度越高，分蘗數亦愈多，但這並不意味整個分蘗期都需要保持高濃度的氮磷鉀以促進分蘗。如果在分蘗末期(亦即幼穗形成期前 10 天爲中心的穗頸分化期)氮肥過多則：(1)分蘗繼續發生以致無效分蘗增多；(2)促使下部節間伸長而易導致水稻倒伏；(3)促使上部葉片軟

弱伸長，影響受光姿勢，對於出穗後之光合成不利。故分蘗期之水稻營養主要依靠基肥及早期追肥(即第一、二次除草時)以促進早期分蘗，確保收量所需之預定穗數爲原則，而在上述幼穗形成期前容易產生氮過剩之害的期間(自幼穗形成期前約 20 天至幼穗形成期)，應利用灌溉水管理(如晒田)方法暫時斷肥或控制上述基肥和追肥之用量而勿使肥效過分持續。但上述幼穗形成期前氮肥肥效之抑制應有限度，該時期固然是氮肥過剩害最易發生的時期，如過分抑制亦會導致無效分蘗之增多及一穗粒數之減少(因爲幼穗形成期前 10 天之穗頸分化期正是穀粒數生產能率最大的時期)而抵消高產的必要因素，所以這段時期之氮肥營養應如何維持仍須注意。同時，許多報告顯示：短稈直立型的耐肥性品種比一般品種都不易在這段期間產生氮過剩之害，對於這種品種當然就沒有抑制肥效之必要。

2.生殖生長期：

生殖生長期是幼穗一面發育，另一面稻株節稈伸長及上位葉生長的期間，也是水稻群體姿勢及一穗粒數之決定時期。在此生長期間，水稻葉片之更立體化，便於接受陽光。而這段期間之氮肥施用一方面既不易產生如幼穗形成期前施肥那種氮過剩之害，另一方面卻能有效增加一穗穀粒數和上位葉之葉面積以及其單位葉面之光合成能力，故是一個重要的施肥時期，所施肥料有穗肥之稱，但穗肥之效果仍視其施肥前之水稻營養狀態而定。如分蘗期之施肥量過多而肥效持續，則穗肥效果不顯著，甚至於亦會產生氮素過多之害。一般的情形是在幼穗形成期(即出穗前 23-25 天幼穗長達 0.1-0.2 公分時)觀察水稻顏色或用碘檢查葉鞘之澱粉堆積情形，以決定施肥與否，或調節用量和施肥期。穗肥之施用時期一般以檢查母莖幼穗長度 0.2 公分時的前後 5 天內(亦即是幼穗長 0.1-0.5 公分時)施用爲準，但如該時水稻葉色仍是濃綠，要延後施用。最好的情況是分蘗期肥料用量控制得當，或在無效分蘗期至幼穗形成期之間施行曬田。以避免水稻在該期間吸收多量氮素，則水稻到幼穗形成期葉色當會褪黃，葉片直立,適合於穗肥的施用。

3.成熟期：

出穗至成熟之期間是穀粒肥大充實之時期，此期之同化產物除了呼吸消耗者以外全部移至穀粒，期間約爲 30 天。成熟期間不只是葉片所合成之糖，就是莖鞘所蓄積之糖類以及易於流動之氮磷鎂硫等無機要素均移向穗部，致根葉易於老化，使葉之光合成能力低下，故若要產量高，即對葉根之衰退應設法防止。成熟期間之氮素施用對葉面積並無增大作用，但可延遲葉之枯死，增加光合成能力，此爲施用粒肥之原因。就營養之觀點看，粒肥之施用應具有以下條件始可有效，即：(1)根部要健全；(2)葉片之受光姿勢要良好；(3)穀粒數/葉面積之比例要高，(4)出穗後天氣要良好，日照充足。

陸、稻之病害與其精準管理

一、稻之病害

稻之病害約 60 種，按病原 Ou(1972)將稻之病害分成真菌病害(fungal diseases)、細菌病害(bacterial diseases)、病毒病害(virus diseases)及線蟲病害(diseases caused by nematodes)等類別。而在這諸多之病害中，有些是國際性；有的則爲區域性。有些是風土病(endemic)；有些是傳染病(epidemic)。且各該病害對稻作之爲害亦有不同，有興趣之讀者可進一步閱讀 Ou(1972)及 IRRI 系列相關出版品。

臺灣地處亞熱帶，高溫多濕的海島型氣候，頗適合各種稻作病原之繁殖及爲害，每年因病害的損失，據估計約 6%之譜。本省水稻病害已報告有 50 餘種，病原

包括真菌、細菌、病毒、菌質及線蟲等，真菌引起之病害最多。本田期真菌性病害有稻熱病、紋枯病、徒長病、胡麻葉枯病、葉鞘腐敗病、褐條葉枯病、小粒菌核病、赤色菌核病、褐色菌核病、稻麴病及黑腫病等較爲普遍。秧苗期病害之徒長病、稻熱病及胡麻葉枯病等係經稻種傳播之病害，而秧苗立枯病則爲土壤中多種真菌複合感染所引起。細菌性病害之白葉枯病及細菌性穀枯病較普遍。病毒病害有黃葉病、縞葉枯病、草狀矮化病、皺縮矮化病及萎凋矮化病，黃萎病則由菌質引起。線蟲病害以白尖病較爲普遍，乾旱區雖有根部線蟲病害之報告，但根部線蟲均屬區域偶發性病害。

依據病原之生態及病害之傳播方式，水稻病害分爲流行病及風土病二種類型。流行病受氣候影響大，平常年大多地區不會發病，氣候適合發病之流行年，病害發生後會迅速蔓延，全面性發生病害，並引起嚴重損失。風土病則每期稻作均會發生，罹病程度同樣也會受氣候影響，傳播則未如流行病之迅速。近年來，稻熱病與白葉枯病爲水稻主要流行病。稻熱病在第一期作較嚴重，據統計報告，民國 55 年至 77 年共 23 年期間，第一期作平均葉稻熱病發生面積 34,269 公頃，穗稻熱病 26,400 公頃。白葉枯病在第二期作較嚴重，每年發病面積均達 1 萬公頃以上，民國 74、78 及 83 年第二期作，稻白葉枯病均超過 4 萬公頃。稻紋枯病發病面積率，民國 52 至 80 年期間，第一期作平均爲 15.8％，第二期作爲 16.7％，稻紋枯病爲臺灣稻作之重要風土病。

稻熱病 (Blast) 之病原真菌爲 *Magnaporthe grisea*，病害之主要感染源爲無性世代之分生孢子，無性世代爲 *Pyricularia oryzae*。稻熱病包括有苗期稻熱病、葉稻熱病、葉舌稻熱病、節稻熱病及穗稻熱病。苗期稻熱病含葉鞘稻熱病，本田期葉鞘則較少被害。苗期及葉稻熱病之病斑，圓形至紡錘形，順葉脈擴展兩端較尖，初期墨綠色或灰綠色，急速型病斑爲白色，病斑上有大量病原菌孢子，後期病斑邊緣呈褐色或深褐色中間灰白色，病斑邊緣黃暈不明顯。葉舌稻熱病引起葉節及葉舌褐變，臨界葉片及葉鞘組織乾枯萎凋死亡。節稻熱病發生於抽穗後之水稻，莖節褐變或黑變，嚴重時稻莖枯死易折斷，葉鞘外側無明顯病徵，葉鞘內側表面則常有褐變，莖節上有大量病菌孢子。穗稻熱病包括穗頸、枝梗及穀粒稻熱病，穗頸及枝梗被害，初呈灰綠色水浸狀病斑，病斑邊緣轉爲深褐色，被害部位以上的枝梗及穀粒枯死。穀粒被害，呈暗褐色圓形或橢圓形病斑。

稻熱病菌感染水稻及產孢需要有水膜及幾近飽和之相對濕度，最適溫度爲 24～28℃。生長於 20℃之水稻比生長於 24～30℃者感病。水溫較氣溫高時稻株較感病。分蘗盛期後之稻株對葉稻熱病抗性增加，本省梅雨期早來易發生葉稻熱病，晚來則較易發生穗稻熱病。山區因霧氣重濕度高，比開闊地區易發生稻熱病。氮肥多稻株感病，前期作種植蔬菜或菸草，殘留肥料多，水稻較感病，鉀肥多較抗病。乾旱後遇雨促使稻株大量吸收氮肥，使稻葉呈現濃綠，對稻熱病較感病。水稻密植區因微氣象屬於高濕，尤其露期較長，易發生稻熱病。

稻紋枯病(Sheath blight)之病原真菌爲 *Thanatephorus cucumeris*，無性世代 *Rhizoctonia solani* AG1 只產生菌核，無分生孢子。分蘗中期稻叢內部稻株下位葉鞘開始發生紋枯病，形成約 1 公分大小灰綠色水浸狀圓形或橢圓形病斑，再逐漸擴大爲中間灰白色邊緣褐色之病斑，高濕高溫環境下數個病斑併合呈雲狀或虎斑狀，葉鞘組織枯死引起葉片黃化乾枯。葉片病斑初呈濕潤狀灰綠色病斑，迅速擴大形成雲紋狀或不正形的枯褐色大病斑。孕穗後期至抽穗初期，稻穗被感染呈污綠色，枝梗

及穀粒呈灰褐色腐死，致抽穗不良。乳熟期稻穗局部被害呈污綠色再轉爲灰褐色病斑。秧苗罹患紋枯病之病徵與本田期相似。發病 3～4 天後，病斑上及附近組織上的菌絲先形成白色菌絲團，再轉爲褐色菌核，病株表面上有菌核爲診斷紋枯病重要根據之一。其它病徵很相似的病害如赤色菌核病、褐色紋枯病及褐色菌核病等菌核性病害，它們的菌核產生在病組織或稻莖內，病組織表面未見有菌核。

紋枯病主要初次感染源爲菌核，田水中菌核之漂浮量在整田後到插秧期間最多，稻田中下風處水面的菌核量比上風處多。漂流之菌核碰到水稻植株會附著在葉鞘外側，並隨水稻之生長而昇高。分蘗中期因稻叢莖數增加，稻叢間濕度加大，菌核開始發芽感染葉鞘致病。病菌侵入水稻組織後，利用菌絲在組織中蔓延擴展，田間交織的稻葉爲紋枯病橫向病勢進展的傳播工具。紋枯病菌無分生孢子，靠菌絲接觸感染，因此本病在田間呈聚集型分佈。溫度 24～28℃最適合發病及病斑擴展，相對濕度在 81～92％最適合稻紋枯病之發生。

稻小粒菌核病(Stem rot)之病原真菌有小球菌及小黑菌二種。小球菌爲 *Magnaporthe salvinii*，無性世代 *Nakataea sigmoidea* var. *sigmoidea*。小黑菌未發現有性世代，無性世代爲 *Nakataea sigmoidea* var. *irregulare*。水稻分蘗盛期，小粒菌侵入葉鞘形成黑漆色小圓病斑，或黑色細長縱條斑，漸次擴大至葉鞘內部。水稻乳熟期，病菌開始侵入稻稈組織，呈縱條狀黑色病斑，病斑散生。嚴重時，多數病斑併合圍繞整枝稻稈，稻稈組織由內向外漸次被病菌分解軟化，致使稻株腐朽倒伏枯死，病原菌在葉鞘病組織中及莖稈內壁形成多數菌核。小球菌的菌核呈規則之圓球形，表面具光澤黑色，菌核較大而少，表生或半埋生，剝開病稈後輕輕震動，菌核較易掉落。小黑菌之菌核爲埋生、不規則球形，表面無光澤黑色，菌核較小而多。田間小球菌及小黑菌共同爲害單一稻株之情況很多。部份小粒菌核病，係由稻稈基部感染再往上蔓延，病稈基部黑變有灰色菌絲，菌核量以基部往上第一或第二伸長節間最多。

小粒菌核病以菌核爲主要初次感染源，整地至插秧時田水中菌核量最多，常像一層黑煙浮於水面，附著在稻株上之菌核多，但只有少數菌核發芽後會感染水稻葉鞘。本病菌最適感染溫度爲 24～28℃，病斑發展之最適溫度爲 30℃。多施氮肥易發病，多施鉀肥可減少發病，磷肥影響不大，矽酸可增加稻株抗性。本田初期田水深，小粒菌感染稻株比例高，病菌侵入葉鞘組織後之病勢進展，則淺水區較快。早熟品種水稻比晚熟品種較感病，稻齡與感病性成正相關。

稻徒長病(Bakanae disease)之病原真菌爲 *Gibberella fujikuroi*，無性世代 *Fusarium moniliforme*。秧苗徒長病於秧苗中後期出現病徵，病苗葉鞘不正常增長比健全苗高、植株纖細、葉片著生角度加大、葉幅變小、葉色淡綠至黃綠，稻種上有粉紅色綿狀菌絲。嚴重苗枯萎死亡，死苗上有白色至粉紅色綿狀菌絲及病菌孢子。徒長苗插植本田後大多枯死，未死病株暫時消失病徵，分蘗盛期再顯現病徵，並有新病株陸續出現，病苗在本田無分蘗，新病株有少數分蘗。本田期徒長病之病徵與秧苗期相似，病株纖細黃綠色，葉幅狹小，葉片著生角加大，病株比健株高，莖節處生有不定根，稻稈維管束褐變，葉鞘內測及莖節上長出菌絲及小型分生孢子，隨後莖基部腐爛致全株萎凋枯死，病株上產生白粉紅色或淡灰色的菌絲層，菌絲層上密生分生孢子，高濕環境下，會散生籃黑色子囊殼，子囊殼單生或叢生。徒長病株大部份在水稻開花前死亡，無法抽穗。後期感染之病株能抽穗，但因提早死亡，稻穗上皆爲空粒或有少數不飽滿穀粒。

適合水稻生長之溫度亦適合徒長病發生，大氣中相對濕度對徒長病之影響不大，土壤濕度影響則很大，湛水狀況下不適合鐮孢病菌生長，徒長病發生較少，機插用箱育秧苗因播種量多土壤淺又非湛水狀態，因此徒長病比較多，但因育苗期間短，病徵顯現前已插秧。稻苗徒長病以稻種爲主要傳播途徑，稻徒長病田中之健全穀粒外殼幾乎都被病菌污染，播種後發病率一般低於 10%；徒長病株之穀粒無論有否稔實，稻殼及胚乳上均存有大量病菌，播種後全部發病，很快枯死並產生大量孢子感染其它秧苗。

胡麻葉枯病(Brown spot)之病原真菌爲 *Cochliobolus miyabeanus*，無性世代 *Bipolaris oryzae*，田間未發現有性世代。水稻葉片被感染後，初呈墨綠色水浸狀小斑點，漸次擴大爲紡錘形或橢圓形病斑，褐色至深褐色，周圍有黃暈。缺氮、鉀或矽之稻植株較感病，病斑會繼續擴大，大型病斑延葉脈呈長橢圓形或紡錘型，似稻熱病之病斑，但本病之病斑中間維持黃褐至深褐色，兩端較寬圓黃暈明顯，稻熱病之病斑兩端較尖黃暈不明顯。葉節及葉舌被害，初呈水浸狀墨綠色，病斑擴大並轉爲枯褐色，孕穗期劍葉之葉節及葉舌發病嚴重會造成抽穗不良。稻分蘗期嚴重發生本病時，葉片常縐縮伸展不良，稻株矮化，抽穗緩慢，稻穗短小結實不佳。穀粒被感染，外穎呈茶褐、暗褐色或暗色，糙米病變爲銹米、死米或青米等，空秕粒增加。

胡麻葉枯病初次感染源分別來自帶菌稻種及病株稻草，病菌腐生性強，環境不良靠菌絲或分生孢子殘存。感染稻種之分生孢子平均可存活兩年，病組織中之菌絲平均可存活 3-4 年。本病菌之分生孢子無休眠性，溫度 20-28℃之高濕環境下，分生孢子在稻葉表面，經 4-8 小時即可完成侵入過程。砂質土壤、泥炭地土壤或土壤淺之稻田，因土壤貧瘠及保肥力差，稻株缺乏氮肥、鉀肥及矽酸易發生本病。其它病蟲害發生後，造成水稻生育不良，亦會併發本病，其中以黃萎病及病毒病害最明顯。

稻葉鞘腐敗病(Sheath rot)之病原真菌爲 *Sarocladium oryzae*。發生在水稻葉鞘上，初呈不規則圓形斑點，邊緣褐色中間灰色或全部灰褐色，與健全組織無明顯界限，病斑擴大成虎斑狀並常圍繞整個葉鞘。劍葉葉鞘被本病爲害會引起抽穗不良，並有多數穀粒被害呈枯褐至暗褐色，稻穗嚴重被害枯萎腐敗則無法抽出。本病菌在病穀及葉鞘病斑表面有大量白粉紅色分生孢子及孢子梗，菌絲少與鐮孢菌有大量菌絲不同，本病之病斑上有孢子而與紋枯病亦可區別，本病大多僅爲害劍葉之葉鞘，第二上位葉鞘以下葉鞘較少被感染，紋枯病之病斑一般由下位葉鞘蔓延而上因而可區別。

葉鞘腐敗病可經由稻種傳播，在田間之腐生性亦很強，病株稻草在田間潮濕環境下，病組織上會產生大量孢子，病菌並會繼續擴展，與其它腐生菌競生，本病菌在稻田間普遍存在，稻株因其它病蟲爲害而衰弱時，易發生本病。

稻褐條葉枯病(Narrow brown leaf spot)之病原真菌爲 *Sphaerulina oryzina*，無性世代 *Cercospora janseana*。本病感染水稻葉片、葉鞘、葉舌、穗梗及稻穎等部位。葉部病斑赤褐色寬度小於 1 公分，局限在 2-4 條葉脈間縱向擴展，病斑長度可達一公分，病斑外圍黃暈明顯。抗病品種上之病斑較短、黑褐色、略有黃暈。本病在葉節產生紅褐色至紫褐色病斑，整個葉節組織變硬脆易斷，葉片基部會縐縮，葉片較短較厚，病斑順著葉脈間向葉片及葉鞘擴展，病害組織僅外觀變色，無急速乾枯萎凋症狀，劍葉之葉節及葉舌被害嚴重時會造成抽穗不良。稻穗軸被感染後有細條紅褐色病斑，嚴重被害後組織變脆易斷，穀粒被害亦有細條小斑點。穗頸及枝梗被害部位，初呈現灰綠色水浸狀病斑，病斑邊

緣轉爲深褐色，被害部位以上的枝梗及穀粒枯死。

褐條葉枯病之病原菌經由氣孔侵入寄主組織，多數菌絲直接穿生寄主細胞，在表皮組織中縱向擴展。病菌產孢時，孢子柄由氣孔下之菌絲長出，再經由氣孔長出寄主外表。本病之病勢進展慢，因此田間均於水稻後期出現。本病對肥料反應與其它病害略有不同，鉀含量高之稻株對本病較感病。

箱育秧苗立枯病(Seedling blight)爲複合感染之病害，病原真菌包括 *Sclerotium rolfsii*、*Pythium* spp.、*Fusarium* spp.、*Mucor* spp.、根黴菌 *Rhizopus* spp.。各病菌引起之症狀及病株在育苗箱中分佈型式差異很大。*S. rolfsii* 在土壤表面有絹白色菌絲，菌絲生長快速，在秧苗葉鞘外表密集纏繞引起枯萎，病菌會產生如蘿蔔種子大小、褐色、表面光澤之圓球形菌核。腐黴菌及水生菌類感染幼苗呈水浸狀腐敗褐變，綠化後之病苗先青枯再轉爲赤褐色，拔取病苗可見葉鞘基部、根冠及根均軟腐褐變，無紅色黴狀物，將病苗洗淨保濕，一日後會長出略透明之白色菌絲。鐮孢菌引起病苗生育不良、矮化、分佈零散，拔取病苗可見稻種上、莖基部及根冠上有粉紅至深紅色之菌叢，病苗根數少而短，苗根及地下部葉鞘紅褐色病變，地上部由外面葉鞘開始枯萎，嚴重秧苗全株枯死並有粉紅色菌叢。利用蔬菜跡地土爲育苗土易引發白黴菌及根黴菌，稻種播種後堆積期間，土表面長滿略透明菌絲及黑色或褐色孢子囊，秧苗移出綠化隨即枯死。白黴菌發生於低溫，菌絲白色至淡黃褐色，孢子囊爲褐色。根黴菌發生於較高溫，菌絲白色，孢子囊黑色。

秧苗立枯病在 20℃以上不易發生，15℃以下秧苗生育受阻抵抗力弱易發病，本省第一期作遇低溫寒流時容易發生立枯病。旱地土壤中菌類密度比水田土壤高，以旱地土壤爲栽培土容易發生立枯病，以表土爲栽培土之發病率較心土爲高。土壤酸鹼值 pH 5.0 以上易發病，但 pH 4.0 以下對稻苗生長不良。稻種播種量多則秧苗纖細抵抗力弱，秧苗稠密致苗間濕度高病原菌滋長迅速，易發生秧苗立枯病。

稻麴病 (False smut) 病原真菌爲 *Ustilaginoidea virens*。病穀胚乳腫大，呈黃色、綠色或黑色，爲病菌之菌核及孢子堆，外觀很像麴母，病穗之穗梗正常。早年人們認爲本病發生於風調雨順氣候之年份，稱之爲豐年病，學者認爲係稻穀粒過度飽滿致米粒外露被感染致病。近年來發現，稻抽穗期及開花期遇陰雨潮濕環境易引發本病，乳熟後期在田間即可發現本病。

稻白葉枯病(Bacterial blight)病原細菌爲 *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*。典型白葉枯病，病斑常起源於葉緣，病菌由水孔侵入，在葉片邊緣形成波浪狀病斑，病菌又隨著葉脈往下蔓延，並在葉脈兩側形成黃化病斑。診斷時將病葉切斷放在水中，可看見細菌的菌泥從病組織中溢出。本省第二期作高溫環境下，會偶發白葉枯病急速萎凋型病徵，插秧後 1～3 週，罹病苗發生急速萎凋枯死，枯葉飄浮水面，病株上有黏稠物爲病原細菌。

白葉枯病主要發生條件爲高溫高濕，高溫適合病菌生長，高濕有利病菌傳播及侵入，颱風挾帶高雨量易造成稻白葉枯病大流行，一般觀念認爲係因颱風造成稻葉傷口有利病菌感染，由近年來本省稻白葉枯病日漸猖獗，第一期作發病面積逐年擴大之情形，颱風並非必要條件，長期下雨或濃霧均有利本病之傳染。農友之作業習慣也是一個影響因子，露水未乾前下田工作將成爲主要傳播工具。

稻細菌性穀枯病(Bacterial grain rot)病原細菌爲 *Pseudomonas glumae*。水稻齊穗後之綠色穗中較易判別，被害穀粒外穎由底部開始病變，初呈蒼白色似失水狀萎凋，漸變爲灰白色或淡黃褐色至深褐色，內外穎之先端或基部變紫褐色，護穎呈暗

紫褐色，外穎上之病變部份與健全部份界線不明顯，穗軸及枝梗綠色未病變。開花前被感染之罹病穀多呈不稔，開花後被感染之罹病穀內糙米由胚乳基部病變呈灰白色，或轉爲黃褐色，患部與健全部界線明顯常呈深褐色帶狀，病糙米畸形萎凋。一般被害稻穗之病穀粒約 10-20 粒，嚴重之病穗則有一半以上之穀粒枯死，稻穗呈直立狀而不易彎曲。本病菌在田間很少感染水稻葉鞘，但會感染有傷痍之葉鞘，首先產生水浸狀病變，隨之轉爲黃褐色，終成中間灰褐色外緣深褐色之病斑，嚴重者病斑會蔓延至整個葉鞘。

細菌穀枯病發病溫度在 24℃～35℃之間，又以 30℃～35℃最適合發病。稻抽穗前後陰雨氣候有助於本病之發生。第一期稻作抽穗期，雖然濕度夠高，但溫度不高，尤其夜間溫度太低，故本病發生較少。第二期稻作抽穗期，中南部氣候高溫多濕，本病發生較普遍；北部則較少同時高溫高濕，本病甚少發生。本病之感染源以稻種傳播爲主。

稻黃萎病(Yellow dwarf)病原爲 Mycoplasma-like organism。黃萎病爲系統性病害，植株明顯矮化，分櫱增多，葉片短、稍寬、淡綠至淡黃色。本病由黑尾葉蟬類媒介傳播，媒介蟲吸入菌質後，經過約三週之潛伏期後可傳病，並終生帶菌質但不經卵傳給後代。稻株感染菌質後潛伏期 3～6 週。苗期感染者至分櫱期顯現全株病徵，病株不抽穗。分櫱期感染者僅少數分櫱病變，抽穗不良程度因感染期間而有差別。孕穗期至抽穗期感染者，至水稻成熟期未顯現病徵，收割後長出再生稻會出現鮮黃色病徵。

田間偶而可見病徵與黃萎病很像的草狀矮化病、萎凋矮化病及皺縮矮化病，病株同樣是矮化、分櫱增加、葉片短、淡黃綠色，但後面三種病之病株狀如草欉、葉片狹窄、直立、常有銹色小斑點。

稻黃葉病(Transitory yellowing)病原爲病毒。黃葉病爲系統性病害，病株生長比健株略慢，不分櫱或分櫱數減少，葉片著生角度稍大，下位葉先呈現深黃至淡黃橙色病徵，並散生銹褐色斑點，葉尖呈褐色乾枯捲曲。病株心葉的葉肉組織，病變成淡綠色，對光透視很容易辨識。本省第二期作高溫環境下，有機物醱酵不良產生有毒物質，導致生理障害發生「窒息病」，下位葉片也會散生銹褐色斑點，嚴重時呈黃褐病變很像黃葉病，但「窒息病」病株心葉的葉肉組織未病變，爲主要分辨點。

黃葉病由黑尾葉蟬類媒介傳播，媒介蟲吸毒後約經一至三週之潛伏期即可傳病，帶毒蟲終生帶毒但不經卵傳播。第一期作秧苗感染病毒約經三至四週潛伏後顯現病徵，第二期作秧苗被感染經一至二週即現病徵。本病之病株收割後不長稻椿，田間第一次感染源均來自帶毒媒介昆蟲，因此第一期作發病比第二期作少。

稻縞葉枯病(Stripe)病原爲病毒。苗期被感染之病株，新葉片黃化徒長捲曲，分櫱數減少。本田初期被感染之病株，病株分櫱數未明顯變化，新葉片沿葉脈方向產生大型黃化條斑，或全葉呈黃化現象，葉鞘及莖稈未徒長，葉片徒長而捲曲下垂，並由葉緣向內捲縮呈細長圓柱狀。分櫱中、後期被感染之病株，葉片呈嵌紋病徵或全葉黃化，後期病斑上有灰褐色壞疽型條斑。孕穗期以前表現病徵之病株，通常不抽穗即枯萎死亡，少數能抽穗者亦多不稔實。

縞葉枯病主要由斑飛蝨媒介傳播，受氣候及蟲齡影響，斑飛蝨吸入病毒至能傳毒之潛伏期爲 5～21 天，經過潛伏期後之二週內傳毒能力最強，帶毒蟲終生帶毒，部份帶毒母蟲會將病毒傳給後代。稻株被感染後，因環境及稻齡不同，潛伏期爲 10～25 天。斑飛蝨及本病病毒之寄主範圍均廣，因此病害之發生受斑飛蝨族群密度影響最大。

稻白尖病(White tip)病原線蟲爲

Aphelenchoides besseyi。苗期開始發病，心葉淺黃綠色或青白色，隨之乾枯，稻苗期及插秧初期健株生長快速遮掩病株，因而不易察覺發生線蟲白尖病。至水稻分蘗盛期後，病株葉片陸續顯現病徵，罹病心葉自葉鞘抽出尚未展開時，其尖端約 1～6 公分處呈淺黃綠色或青白色，已展開葉片尖端呈淺黃而變白色或油浸狀灰色透明狀，對光透照似有螢光，罹病部與健全部有暗褐色波狀隔紋，罹病葉尖漸捲縮枯萎而脫落。嚴重病株之莖節較短並常有暗色斑紋，分蘗數增加，葉片短狹轉濃綠色，尤其劍葉常會發生扭捲現象。嚴重病株抽穗不良，花穗畸型且短，稔實率低，又於下面莖節另抽出一小穗，但稔實率及稔實度均不佳，穀粒扭曲不整，有紅褐色斑點或全面暗褐色。

白尖病之病原線蟲經由稻種傳播，因捲曲膠著於稻殼內表呈休眠狀態，可存活三年以上。田間水稻收穫後，病原線蟲也可在稻稈、遺落田間穀粒或秕粒存活越多，這些帶蟲材料藉由灌溉水流到秧苗或稻株上，病原線蟲附在稻葉鞘，再轉入葉鞘內側及心葉部位繁殖生長致病。

二、稻作病害之精準管理

稻作病害之防治，以種植抗病品種最好。長年的水稻育種工作，抗病檢定被列爲重要項目之一，經命名推廣之稻品種均帶有抗稻熱病基因，抗白葉枯病之稻品種則較少。種植抗病品種雖爲最佳防治方法，但病原菌會產生新的生理小種感染抗病品種，致使抗病品種罹病化，因此抗病品種輪替是必要的。

肥料三要素施用適當，氮肥過量稻株較感病，氮肥採分次施用可增強植林抗病力，抽穗前缺氮肥時應補施穗肥，充分施用鉀肥或矽素肥料，可增加稻株抗病性。多施堆肥及綠肥等有機質肥料，稻草經醱酵方可施用，可降低胡麻葉枯病之發生。

稻作病害防治亦不可忽視耕作管理及田間衛生。浸種前需以硫酸銨水溶液或鹽水選取健穀，去除病秕。育苗土最好採用水田心土，一般土壤需乾燥後存放長時間，降低土中病原菌密度後再使用，舊育苗箱重複使用前先洗淨並消毒，稻種充分浸水並預先催芽，避免播種太密，覆土不宜太厚，第一期作育苗有寒流時，應蓋塑膠布保溫，溫度回升，則須注意通風，如此可降低秧苗立枯病發生，育出健壯秧苗。第二期作育苗期間，覆蓋尼龍網可防止媒介昆蟲傳染病毒，減少病毒引起之病害。本田被害之稻草不可置放田間，水稻收穫後罹病稻稈應善加處理，深耕翻犁將稻殘株埋入土中，降低田間病原密度。老熟秧苗常有稻熱病、胡麻葉枯病及徒長病，應避免栽種老秧苗。加大水稻行株距，降低叢間濕度及病蟲害，可增加稻株對病害之耐病性。稻田應注意灌排水，插秧至分蘗期採淺水灌溉，分蘗盛期達有效分蘗莖時可適時行排水措施，尤其第二期稻作，可增進稻根生育增強稻株強壯及抗病力。施肥或濆藥工作儘可能在下午進行，避免清晨露水未乾前在已發生白葉枯病之稻株間行走。田間雜草清除也可減少病害傳播。水稻抽穗期以後改以深水灌溉，水稻生育後期愈晚排水愈好。

稻種消毒防治稻種傳播之徒長病、稻熱病及胡麻葉枯病，可降低及延遲本田期病害之發生。藥劑防治將因不同病害及地區而有不同對應方法，流行病之經濟防治應配合病害之發生預測，風土病則注重於早期防治。容易發生稻熱病的山區，防治時機應較早，可注意病勢進展，當被害率達 5％而且大多是灰綠色的感病型新病斑，就要趕快防治。相對的，稻熱病斑數少且爲深褐色，氣候又已轉爲比較乾燥，則不必防治。紋枯病在分蘗期開始施藥防治，效果較孕穗期以後再防治爲好。

柒、稻之蟲害與其精準管理

一、稻蟲害之概況

稻之害蟲超過 100 種，一般歸類爲：螟蟲類(stem borer)、飛蝨類(plant hopper)、葉蟬類(leafhopper)及癭蠅類(gall midge)等四類。有關臺地區水稻蟲害之調查研究，較具系統者始於光復前的日據時代。1910 年日人堀健與素木得一合著之『有關臺灣害蟲之調查』，爲綜合臺灣產害蟲之首著，在 150 種害蟲中水稻害蟲就佔 70 種。1943 年三輪勇四郎所著『臺灣害蟲名彙』所列之水稻害蟲有 101 種。光復後據易希陶（1963）所述亦多達八十餘種。主要發生種類與爲害程度因季節、地區而異，而防治策略與耕作方式亦影響重大（表 2）。尤其在 1950 年後，由於合成氯化烴，如 DDT、BHC 等，及有機磷劑等劇毒性殺蟲劑的引進與過度使用，主要害蟲改以飛蝨類、葉蟬類等爲主。近年來更以能長距離遷移之褐飛蝨（*Nilaparvata lugens* (Stål)）與瘤野螟（*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)）最受矚目。其他尚有稻細—（*Steneotarsonemus medecassus* Gutierrez）、水稻水象鼻蟲（*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel）等較爲地區性且可能日漸擴大嚴重中之害蟲亦需注意。茲將臺灣地區較被重視之害蟲略述於后。

表 2. 臺灣水稻主要害蟲變遷概要

時期	主要害蟲種類	重要背景
光復前	二化螟、三化螟、斑飛蝨、負泥蟲、鐵甲蟲、黑尾浮塵子、黑椿象	生物防治（鴨食鐵甲蟲、人除被害株、摘除螟蛾卵塊等）
光復後初期	三化螟、鐵甲蟲、葉蟬類、負泥蟲、稻螟蛉、稻苞蟲、粟夜盜蟲、瘤野螟、稻椿象、臺灣飛蝗、鹽水蜈蚣	天然藥劑（除蟲菊、魚藤根等） 少量劇毒藥劑（砒酸鈣防治負泥蟲）
增產期 1950～65	飛蝨類、葉蟬類、二化螟、鐵甲蟲、負泥蟲	以藥劑防治為主（合成氯化烴 DDT 及 BHC、有機磷劑過度使用）1949 引進 2.水稻栽培期漸趨整齊
輝煌期 1966～82	飛蝨類、瘤野螟、二化螟、稻心蠅、稻細　、福壽螺	改種半矮性豐產品種 密植、高氮肥之栽培技術 收割後稻草之利用方式（覆畦）
轉作期 1983 以後	飛蝨類、瘤野螟、水稻水象鼻蟲、稻細蟎、福壽螺	綜合防治 經濟為害水平

（摘自朱及鄭，1996；鄭及朱，1999）

1.飛蝨類及葉蟬類：

褐飛蝨（*N. lugens*）爲亞洲地區水稻主要害蟲之一，在臺灣是 1912 年時首度被記錄，在此之前並未被人注意，茲後才逐漸被重視而列爲重要水稻害蟲，至 1960 年代由偶發性變成經常性發生之嚴重害蟲。該蟲年發生約 8-11 代，性喜高溫多濕之環境，在秧苗期或本田插秧後不久即可侵入，若蟲與成蟲喜群聚於植株基部離水面約 10 公分處吸食汁液，輕者植株基部黃化，重則全株枯萎，常於第二期作乳熟期間危害最烈，蟲口密度高時更可造成整片稻作倒伏之蝨燒現象。

該蟲產卵於葉鞘組織內，成蟲及若蟲均棲息於隱蔽不通風的稻株基部取食，殺蟲劑不易充分觸及，又所施用之藥劑殘毒多較短，故其棲群密度回升迅速，防治實屬不易。因此應愼選藥劑性質，同時注意

施藥技術以及適當防治時機，方能有較佳之防治效果。如褐飛蝨棲群大部爲若蟲時，乳熟期之前平均每叢水稻 5-10 隻，之後每叢 20 隻爲其經濟爲害基準，乃較佳且經濟之防治時機。藥劑噴佈則需連續兩次以上較能抑制其棲群之快速回升。其他如能配合栽植抗蟲品種，以延緩害蟲族群之增殖，亦可減少藥劑之施用。

其他較重要的飛蝨類如白背飛蝨（*Sogatella furcifera* (Horvath)）亦與褐飛蝨同屬熱帶地區害蟲，且同樣能作長距離遷移。年發生 9-11 代，棲息於稻株之中、上部位，抽穗後移棲劍葉及稻穗，造成葉片由基部往上黃化。水稻分蘗後期至乳熟期間密度較高，嚴重時亦會造成蝨燒。

斑飛蝨（*Laodelphax striatellus* (Fallen)）則屬溫帶地區的害蟲，在 1904 年即已是水稻五大害蟲之一，但往後即不被重視，直至 1980 年代才又被重視。本蟲年發生 8-11 代，亦產卵於葉片中脈或葉鞘上部組織內，爲害部位在稻株上部或稻穗，密度在乳熟期達到最高峰。可傳播水稻縞葉枯病，應特別注意秧田及本田初期之防除。

黑尾葉蟬（*Nephotettix* spp.），年發生 8-11 代，產卵於葉鞘脊部組織內，喜群棲於稻株基部爲害。常於第二期作之乳熟期至糊熟期間危害最烈，輕者基葉黃化，重者全株枯萎，甚至蝨燒。該蟲可媒介水稻黃萎病、黃葉病，因其間接危害嚴重而受重視。

電光葉蟬（*Recilia dorsalis* (Motschulsky)），年發生 10 代以上，尤在第二期作抽穗後其族群密度最可能大幅增高。生活習性與爲害方式類似黑尾葉蟬。

2.螟蛾類：

瘤野螟（*C. medinalis*），俗稱稻縱捲葉蟲。在臺灣地區雖然 1912 年即已被列爲水稻主要害蟲之一，但多爲偶發性，1960 年以後才逐漸普遍嚴重，至今之重要性則僅次於褐飛蝨。其原因一般認爲與栽植半矮性、豐產品種及密植、高氮肥等栽培技術有關。本蟲年發生約 6-8 代，在南部地區可能多達 9-10 代，於第二期稻孕穗期至齊穗期危害尤烈。幼蟲取食嫩葉葉肉，或潛入葉鞘啃食其內壁組織，二齡以後吐絲將葉之兩側綴合成縱行蟲苞，棲息其中沿葉脈取食，受害葉片呈縱行長條白色斑痕。

水稻螟蟲類，在日據時代主要是指三化螟，稱之爲臺灣水稻螟蟲之代表。光復後 1960 年代才較重視二化螟。二化螟（*Chilo suppressalis* (Walker)）。本蟲昔時爲地區性蟲害，曾經一度取代三化螟之重要性，1960 年代後期則逐漸變爲次要害蟲，1980 年代初期才又普遍發生。二化螟年發生 4-6 代，卵塊產於葉面或葉鞘上，孵化之幼蟲有群棲性，自葉鞘縫隙潛入取食葉鞘內側，致葉鞘萎黃枯死。隨後鑽入稈內爲害，造成枯心或白穗。越冬之幼蟲或蛹棲息於水稻殘株或稻稈內，因此堆積田邊或作畦面覆蓋等之稻稈就成爲該蟲之擴散源，而殘株稻稈之處理也就成爲防治二化螟之重要工作。

三化螟（*Scripohaga incertulas* (Walker)）又稱一點大螟。自日據時大即爲委稻主要害蟲之一，嘉南地區尤其嚴重，1960 年以後逐漸式微。本蟲年發生 4-6 代，卵塊產於葉片上，幼蟲無群棲性，孵化後即藉爬行或吐絲隨風分散。幼蟲自心葉或葉鞘縫隙或穗梗蛀入稻莖取食爲害，水稻若在分蘗期被害形成枯心，若在孕穗期被害則成白穗。幼蟲亦在殘株或稻稈內越冬，殘株稻稈之處理亦是防治重點。

3.稻細蟎（*S. medecassusi* 或 *S. spinki* Smiley）：

據稱 1968 年在臺南官田鄉之局部地區即有稻不稔病發生，1976 年在中南部爆發嚴重，才被鑑定出來有稻細蟎之爲害。造成水稻不稔症之原因見解不一，一般認爲是由稻細蟎與葉鞘腐敗病菌共同引起。而葉鞘腐敗病菌之感染，需經由稻細蟎的攜帶及其所造成的傷口侵入。因此，水稻

不稔症的主要兇手還是稻細蟎。1979 年以後則鮮有發現不稔症，有學者推測可能與改植抗性品種有關。

4. 水稻水象鼻蟲（*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel）：

原產於美國，爲害水稻。1976 年入侵日本，10 年之間蔓延全日本。1988 年南韓亦發現該蟲，約 5 年有 2/3 的水稻栽培區被爲害，擴散速度可謂驚人。臺灣則在 1990 年首度在桃園發現，一年之間即約有 15,000 公頃的水稻田被害，幸賴政府補助進行緊急防治，而得以緩和其蔓延速度。然而該蟲已在臺灣立足，且已越過苗栗山區，向中南部擴散之中，應加以密切注意。本蟲在臺灣地區年發生二代以上，成蟲在田邊或林間之雜草、枯枝敗葉中越冬，水稻移植後而侵入爲害，白天其息於稻株基部，黃昏時拔至葉尖活動爲害葉部，沿葉脈造成寬約 0.1 長數公分之白色織紋狀食痕。卵產於水面下之葉鞘組織內，孵化後先在葉鞘內取食，1-3 天後調入水中，並蛀入根部爲害呈碎洞狀食痕，使稻株黃化枯萎易被拔起、分蘗減少，發育明顯受阻。

二、稻蟲害之精準管理

僅管水稻在農業中的重要性不比昔日，且非高經濟作物，然而稻米仍是我國人之主食，有其一定之地位。因此，除了品質要求之外，如何在水稻栽培過程中降低生產成本亦是一致追求的目標。由於病蟲害管理常是主要之成本耗費，若能透過對各種病蟲害發生特性的瞭解，並有效運作已行之有年的預測制度系統及其所累積之資料與經驗，再結合資訊網路與遙測技術等短、中、長期的規劃與管理，使所有防治措施皆能把握適時、適藥、適量及適位之原則，甚而防患於未然，不只能夠降低生產成本，並使水稻栽培機制更臻完善。

捌、結　　語

眾所皆知，精準農業是一種以資訊及科技爲基礎之農業經營體系，經藉一套完善之決策系統整合串連農耕資料庫、土壤資料庫、地理資訊系統、全球定位系統、遙測科技、及自動化農機操作系統，鑑定、分析與管理特定之農田與作物，期穫致最佳之收益與環境保育，確保農業之永續經營。而目標作物之栽培、植物營養、農業氣象、雜草管理、病害管理、蟲害管理、逆境生理等各項資料是構成農耕資料庫之重要基礎資訊。

在臺灣，稻作產業因兼具生態性、生活性及生產性，其重要性已因國內外農業主客觀環境之改變而更趨突顯。亦即，在臺灣，稻米並不僅僅是一種最重要的糧食作物，它對臺灣的生態環境，對臺灣經濟的安定更有重大之影響。以往國內在水稻相關栽培、植物營養、農業氣象、雜草管理、病害管理、蟲害管理、逆境生理等各領域之研究既廣泛也深入，各領域均有獲具體研究成果之學者專家。唯，國內以往在水稻之相關栽培、植物營養、農業氣象、雜草管理、病害管理、蟲害管理、逆境生理等各領域之具體成果均無與地理資訊系統、全球定位系統、遙測科技、及自動化農機操作系統聯結之數據，而無法於精準農業作業系統中直接被應用。

本文係就已獲具體共識有關稻之生長、農業氣象、雜草、植物營養、病害及蟲害逆境與管理等已發表之論著加以綜合討論，主要目的在提供水稻精準農耕體系研究計畫中有關農耕資料庫建立之計畫擬定與執行之參照，而本論述之提出相信在國內進行水稻精準農耕體係建立之研究上將有相當程度之助益。

玖、引用文獻

1. 松島 省三。1972.。稻作 理論 技術. 養賢堂，東京，pp. 219-225.
2. 張德慈。1997。植物遺傳資源---未來植物生產的關鍵。臺灣省農業試驗所特刊第 63 號。
3. 朱耀沂、楊平世。1980。褐飛蝨在臺灣日據時代經濟重要性之探討。昆蟲會會學報 15: 35-44。
4. 朱耀沂、鄭清煥。1996。臺灣光復前水稻害蟲研究之沿革。植保會刊 38: 79-98。
5. 杜金池等編。1990。稻作病蟲害發生預測專輯—稻熱病。臺灣省農業試驗所特刊第 30 號。共 119 頁。臺灣省農業試驗所，臺中。
6. 杜金池、張義璋。1991。水稻紋枯病之生態及防治。杜金池等編， 稻作病害研討會專刊，pp.65-81。臺灣省農業試驗所，臺中。
7. 易希陶。1963。經濟昆蟲學。下冊。國立編譯館出版，464 頁。
8. 吳田泉。1993。臺灣農業史。自立晚報社文化部。臺北。
9. 陳秋男。1978。水稻褐飛蝨 *Nilaparvata lugens* (Stål)之生態。第 1-22 頁，於邱人璋主編，水稻病蟲害：生態學與流行學。中國農村復興聯合委員會出版。
10. 陳秋男、蘇文瀛、楊惠琴、陳麗芳。1982。臺灣水稻害蟲圖譜。臺灣植物保護中心印行，40 頁。
11. 陳慶忠。1978。本省傳播水稻毒素病或類似毒素病害同翅目害蟲之發生及其防治。中央研究院動物所專刊第三號：第 113-122 頁。
12. 蔣慕琰。1995。水田雜草概觀：種類、生態及防治。植物保護學會會刊．37: 339-355。
13. 蔣慕琰、呂理燊。1982。臺灣稻田雜草及其危害。中華民國雜草學會會刊．3(1):18-46。
14. 臺灣省政府農林廳。1966-1997。植物保護工作檢討報告。農林廳編印。
15. 臺灣植物病害名彙。1991。蔡雲鵬(主編)修訂 3 版。中華植物保護學會 604pp。
16. 蔡金川。1978.。水稻生育各期溫度及遮光對產量及其構成要素之影響. 科學農業 26（5-6）: 194-201.
17. 鄭清煥。1979。水稻褐飛蝨的經濟爲害水平之研究，Ⅱ.褐飛蝨棲群密度與水稻產量損失之關係。科學發展月刊 7(11): 1103-1113。
18. 鄭清煥。1980。第一期稻作黑尾葉蟬棲群成長型式及其直接爲害經濟防治適期之研究。昆蟲學會會報 15: 133-144。
19. 鄭清煥。1987。嘉南地區瘤野螟蟲之生態觀察。植保會刊 29: 135-146。
20. 鄭清煥、朱耀沂。1999。臺灣光復後水稻害蟲之發生演變及防治研究之回顧。植保會刊 41: 9-34。
21. 謝式坪鈺。1991。臺灣水稻白葉枯病發生近況與展望。杜金池等編，稻作病害研討會專刊，pp.117-130。臺灣省農業試驗所，臺中。
22. 謝昱暐。1979。一、二期作水稻之生長與光合作用構成因子。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集. pp.91-100. 行政院國家科學委員會研討會專集 第二號行政院國家科學委員會。臺北.
23. 簡錦忠、洪雲卿。1970 稻白葉枯病之研究 1.接種方法之檢討及稻品種抗病性測定。農業研究 19: 46-50。
24. 簡錦忠、謝麗娟。1989。本省稻白葉枯病菌病原群之研究 1.判別品種探討。中華農業研究 38: 216-228。
25. Chang, T. T. 1976. The origin, cultivation, dissemination, and diversification of Asian

and African rice. Euphytica 25: 425-441.

26. Chang, T. T. 1985. Crop history and genetic conservation: Rice---A case study. Iowa State J Res.59(4): 425-455.
27. Chang, T. T., and B. S. Vergara. 1972. Ecological and genetic information on adaptability and yield ability in tropic rice varieties. pp 431-451. *In*: Rice Breeding. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
28. Chatterjee, D. 1948. A modified key and enumeration of the species of *Oryza* L., Ind. J. Agr. Sci. 18: 185-192.
29. Chang, W. L. 1970. The effect of weeds on rice in paddy fields. I. Weed species and population density. Journal of Taiwan Agricultural Research 19(4): 18-28.
30. Chiang, M. Y. and Leu, L. S. 1981. Weeds in paddy field and their control in Taiwan. pp25-35. In Weeds and Weed Control in Asia. FFTC Book Series No. 20. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, Taiwan.
31. Chiang, M. Y. 1983. Emergence, growth and reproduction of eleven paddy weeds in two seasons. Weed Science Bulletin (ROC) 4(1): 1-8.
32. Chiang, M. Y. 1994. Integrated management of paddy weeds in Taiwan: current status and prospects for improvement. pp88-95. In Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia. FFTC Book Series No. 45 Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, Taiwan.
33. Chiang, Y. J. and L. S. Leu. 1987. Effect of application timing and residual period of londax on main paddy weeds in Taiwan. In Proc. eleventh Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf. 223-231.
34. Chisaka, H. 1977. Weed damage to crops: Yield loss due to weed competition. pp1-15. In Integrated Control of Weeds. I. D. Fryer and S. Matunaka(eds.) University of Tokyo Press, Japan.
35. De datta, S. K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. 518P. John Wiley & Son, Inc., NY.
36. Mikkelson, D. S., and De Datta. 1991. Rice culture. pp 103-186. *In*: Rice Production. Vol. I. Bor S. Luh (ed.). AVI., Westport, CN.
37. Minton, B. W., M. E. Kurtz and D .R. Shaw. 1989. Barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) control with grass and broadleaf weed herbicide combinations. Weed Sci. 37: 223-227.
38. Ou, S. H. 1972. Rice Deseases. 368p. Commonw. Myclo. Inst., Kew, England.
39. Premasthira, C. and Zungsonthioporn, S. 1995. Allelopathic substances contained in gooseweed (*Sphenoclea zeylanica* Gaertn.) pp311-314. In Proceedings I(A) 15th Asian-Pacific Weed Science Society Conference Tsukuba, Japan.
40. Tanaka, A.,S. A. Navasero, C. V. Garica, F. T. Parao, and E. Ramirez. 1964. Growth habit of the rice plant in the tropics and its effect on nitrogen response. IRRI. Technical Bulletin No. 3. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
41. Takeda, S., P. B. Sweetser, D. L. Erbes and T. Yuyama. 1985. Mode of selectivity of londax herbicide (DPXF5384) in paddy rice. In Proc. tenth Asian-Pacific Weed Sci. Soc. ㊣

Conf. I: 156-161.
42. Vergara, B. S. 1980. Rice plant growth and development. pp 75-86. *In*: Rice: Production and Utilization. B. S. Luh (ed.), AVI., Westport, CN.
43. Vergara, B. S., and T. T. Chang. 1976. The flowering response of the rice plant to photoperiod : A review of literature. 75p. Int. Rice Res. Inst. Tech. Bull. 8. Los Banos , Philippines.
44. Vergara, B. S., and T. T. Chang. 1985. The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod. 61p. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
45. Yamasue, Y. and Ueki, K. 1983. Biology of paddy weeds and their control in wetland rice. pp227-242. In Weed Control in Rice. International Rice Research Institute. Philippines.
46. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. 269p. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
47. Zimdahl, R. L., K. Moody. R. T. Lubigan and E. M. Castin. 1988. Patterns of weed emergence in tropical soil. Weed Sci.36: 603-608.

Chapter 4 Development and Precision Cultivation Management Practice in Rice

Yih-Chuan Kuo[1], Jin-Chuan Tsai[1], Yeong-Jene Chiang[2], Chong-Ho Wang[1], Yih-Chang Chang[1], and Jih-Zu Yu[1]

[1] Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture
[2] Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substance Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC

ABSTRACT

Rice is generally considered as a semiaquatic annual plant although it could survive as a perennial in the tropics or subtropics. Taxonomically, rice belongs to the genus *Oryza* of family *Gramineae*. The rice plant takes 100-210 days, usually 4-5 months, from germination to maturity, depending on the variety and the environment under which it is grown. The development of the rice plant can be divided into three phases (stages): vegetative phase or stage; reproductive phase (stage); and ripening or maturation phase (stage). Rice is often grown in diverse biotic and abiotic stress, the practice cultivation management is so important in performance of yield potential. The comprehensive review was given in the topics of development, climatic environment and its effects on rice production, mineral nutrition and fertilizer management, weeds and weed control and insects and diseases and their control of rice.

Key words: Development, Precision Cultivation Practice Management, Rice.